



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Farmacia y Bioquímica

Unidad de Posgrado

**Determinación de arsénico, mercurio y plomo en  
truchas (*Oncorhynchus mykiss*), piensos y agua de  
piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de  
Oyón, región Lima**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Toxicología

**AUTOR**

Walter RIVAS ALTEZ

**ASESOR**

Dr. Luis Miguel FÉLIX VÉLIZ

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

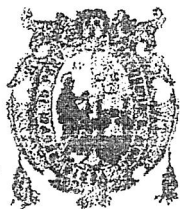
Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Rivas W. Determinación de arsénico, mercurio y plomo en truchas (*Oncorhynchus mykiss*), piensos y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón, región Lima [Tesis de maestría]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Unidad de Posgrado; 2018.

---



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR  
AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN TOXICOLOGÍA**

Siendo las **10:00 hrs. del 20 de diciembre de 2018** se reunieron en el auditorio de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el Jurado Examinador y Calificador de tesis, presidido por el Dr. Mesías Moisés García Ortiz e integrado por los siguientes miembros: Dr. Luis Miguel Visitación Félix Veliz (Asesor), Dr. José Alfonso Apesteguía Infantes, Mg. César Augusto Canales Martínez y el Mg. José Antonio Llahuilla Quea; para la sustentación oral y pública de la tesis intitulada: **"DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO, MERCURIO Y PLOMO EN TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*), PIENSOS Y AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA"**, presentada por el Bachiller en Farmacia y Bioquímica **WALTER RIVAS ALTEZ**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar al Grado Académico de **Magíster en Toxicología**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación el Jurado Examinador y Calificador de tesis procedió a la calificación, la que dio como resultado el siguiente calificativo:

**Dieciocho (18)**

Luego, el Presidente del Jurado recomienda que la Facultad proponga que se le otorgue al Bachiller en Farmacia y Bioquímica **WALTER RIVAS ALTEZ**, el Grado Académico de Magíster en **Toxicología**.

Siendo las **11:25** hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en Lima, a las **11:35** hrs. del 20 de diciembre de 2018.

Dr. Mesías Moisés García Ortiz (P.P., T.C.)  
Presidente

Dr. José Alfonso Apesteguía Infantes (P. Asoc., T.P.)  
Miembro

Dr. Luis Miguel Visitación Félix Veliz (P.P., T.C.)  
Miembro - Asesor

Mg. César Augusto Canales Martínez (P. Asoc., T.P.)  
Miembro

Mg. José Antonio Llahuilla Quea (P. Aux., T.C.)  
Miembro

Observaciones:

## DEDICATORIAS

*A la persona que me enseñó que con esfuerzo y dedicación se logra muchas cosas. Mi padre **Víctor Rivas Malpartida** que desde el cielo cuida por mí.*

*A mi madre **Fortunata Altez** quien me cuida a pesar de los años, me inspira a seguir siendo mejor persona y a ser perseverante.*

*A mis hermanos **Nelly, Mery, Víctor, Carlos, Gabriel y Miguel**, por sus consejos y apoyo en difíciles situaciones y por estar siempre allí.*

*A mis hijos **Yenny, Melina y Walter** quienes me ayudaron a realizar esta investigación y además son el soporte de todo lo que realizo, quienes me brindan estabilidad en todo.*

*A mis amigos y colegas de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM y de la Universidad Norbert Wiener quienes me aconsejaron y apoyaron:*

**José Roger Juárez Eyzaguirre**

**César Canales Martínez**

**Manuel Hernández Aguilar**

**Edgard Tapia Manrique**

**Jahaira Bazalar Palacios**

**Liliana Muñoz Suarez**

**Brigitte Vargas Goyzueta**

*Al Dr. **Ernesto Torres Véliz**, por brindarme la oportunidad de desarrollarme en el apasionante mundo de la docencia sobre todo en la cátedra de la Farmacología. Mi agradecimiento eterno y siempre siguiendo su ejemplo, como persona y como buen profesional.*

*Al Dr. **Luis Miguel Félix Véliz**, mi tutor, un agradecimiento fraterno por su apoyo incondicional y consejos en la presente investigación, por su apoyo, consejos y oportunidad de desarrollarme en ese inmenso mundo de la Química Orgánica.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A los miembros del Jurado Examinador y Calificador:*

*Dr. Mesías Moisés García Ortíz. (Presidente)*

*Dr. José Alfonso Apesteguía Infantes. (Miembro)*

*Mg. César Augusto Canales Martínez (Miembro)*

*Dr. Luis Miguel Visitación Félix Véliz. (Miembro - Asesor)*

*Mg. José Antonio Llahuilla Quea. (Miembro)*

*A las personas amigas que directa o indirectamente contribuyeron a la realización de éste trabajo de investigación.*

## INDICE GENERAL

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación problemática	2
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema principal	4
1.3 Justificación teórica	4
1.4 Justificación practica	5
1.5 Objetivos de la Investigación	5
1.5.1 Objetivo General	5
1.5.2 Objetivos Específicos	6
1.5.3 Hipótesis	6
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Marco Filosófico de la investigación	7
2.2 Antecedentes de la investigación	7
2.3 Bases Teóricas	9
2.3.1 Generalidades de la trucha “arco iris”	9
2.3.2 Taxonomía	10
2.3.3 Biología de la Trucha	11
2.3.4 Etapas de desarrollo de la Trucha	13
2.4 Situación actual de la acuicultura de la trucha en el Perú	14
2.5 Contaminación por metales pesados	15
2.6 Plomo	17
2.6.1 Antecedentes históricos	17
2.6.2 Fuentes naturales del plomo	18
2.6.3 Límites de exposición	18
2.6.4 Toxicocinética del plomo	19
2.6.5 Toxicodinamia: Efectos del plomo sobre el sistema nervioso central	21
2.6.6 Efectos del plomo a nivel renal	21
2.6.7 Efectos del plomo sobre la reproducción	22
2.6.8 Efectos sobre el sistema cardiovascular	22

2.6.9	Efecto del plomo en los niños .....	22
2.6.10	Usos industriales .....	23
2.7	Mercurio .....	24
2.7.1	Características químicas de interés biológico .....	25
2.7.2	Límites de exposición .....	26
2.7.3	Toxicología del Mercurio .....	26
2.7.4	Exposición humana a mercurio .....	26
2.7.5	Intoxicaciones agudas .....	27
2.7.6	Intoxicaciones crónicas .....	27
2.7.7	Valores límites biológicos .....	28
2.8	Arsénico .....	28
2.8.1	Fuentes del arsénico .....	28
2.8.2	Usos del arsénico .....	29
2.8.3	Propiedades químicas del arsénico y sus especies .....	29
2.8.4	Distribución y metabolismo de arsénico en el ser humano .....	30
2.8.5	Mecanismos de toxicidad .....	31
2.8.6	Intoxicación aguda .....	32
2.9	Absorción atómica .....	32
2.9.1	Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica ....	33
2.9.2	Fundamento de la Absorción Atómica.....	34
CAPITULO 3: METODOLOGÍA .....		35
3.1	Tipo y diseño de investigación .....	35
3.2	Población y unidad de análisis .....	35
3.3	Tamaño de la muestra .....	35
3.4	Técnicas de la recolección de datos .....	35
3.4.1	Recolección de la muestra .....	36
3.4.2	Conservación y almacenamiento: cadena de frio de las muestras.....	36
3.4.3	Tratamiento de la muestra .....	36
3.6	Análisis e interpretación de la información .....	39
3.7	Parámetros de lectura para arsénico .....	39
3.8	Parámetros de lectura para mercurio .....	42



3.9	Parámetros de lectura para plomo .....	45
CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		48
4.1	Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados .....	48
4.2	Resultados .....	49
4.3	Discusión .....	95
CONCLUSIONES .....		99
RECOMENDACIONES .....		101
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....		102
ANEXOS .....		109

## LISTA DE FIGURAS

1. Morfología de la trucha .....	pág.	10
2. Huevos fecundados de la trucha .....	pág.	13
3. Alevino de trucha .....	pág.	13
4. Parámetros de calibración de arsénico .....	pág.	41
5. Parámetros de mercurio .....	pág.	44
6. Parámetros de plomo .....	pág.	47
7. Comparación de los valores encontrados de arsénico en agua..... de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	53
8. Determinación de los valores encontrados de arsénico en truchas ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima... ..	pág.	54
9. Determinación de los valores encontrados de arsénico en piensos de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	55
10. Determinación de los valores encontrados de mercurio en muestra de agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	57
11. Determinación de los valores encontrados de mercurio en muestra de “trucha” de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	58
12. Determinación de los valores de mercurio en muestra de pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	59
13. Determinación de los valores de plomo en muestra de agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	61
14. Determinación de los valores de plomo en muestra de musculo de “trucha” de piscigranjas del Distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima....	pág.	62

15. Determinación de los valores de plomo en muestra de pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	63
16. Determinación de los valores máximos y mínimos de arsénico en agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	65
17. Determinación de los valores máximos y mínimos de arsénico en “trucha” de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	66
18. Determinación de los valores máximos y mínimos de arsénico en pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	67
19. Determinación de los valores máximos y mínimos de mercurio en muestra de agua de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón Región Lima - Perú.....	pág.	68
20. Determinación de los valores máximos y mínimos de mercurio en muestra de “trucha” de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	69
21. Determinación de los valores máximos y mínimos de mercurio en muestra de pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	70
22. Determinación de los valores máximos y mínimos de plomo en muestra de agua de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	71
23. Determinación de los valores máximos y mínimos de plomo en muestra de “trucha” de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	72
24. Determinación de los valores máximos y mínimos de plomo en muestra de pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara Provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	73
25. Comparación de los valores de arsénico en agua vs límite máximo		

establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	77
26. Comparación de los valores de arsénico en “trucha” vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	78
27. Comparación de los valores de arsénico en pienso vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	79
28. Comparación de los valores de mercurio en agua vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	83
29. Comparación de los valores de mercurio en “trucha” vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	84
30. Comparación de los valores de mercurio en pienso vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana. ....	pág.	85
31. Comparación de los valores de plomo en agua vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	89
32. Comparación de los valores de plomo en “trucha” vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana. ....	pág.	90
33. Comparación de los valores de plomo en pienso vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	91

## LISTA DE TABLAS

1. Determinación cuantitativa de arsénico en “truchas” ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), pienso y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 49
2. Determinación cuantitativa de mercurio en “truchas” ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), pienso y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 50
3. Determinación cuantitativa de plomo en “truchas” ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), pienso y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 51
4. Determinación de los valores de arsénico en “truchas” ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ), pienso y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 52
5. Determinación de los valores de mercurio en “truchas”, agua y pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 56
6. Determinación de los valores encontrados de plomo en muestra de “trucha” agua y pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 60
7. Determinación de los valores máximos y mínimos de arsénico, mercurio y plomo en muestra de “trucha”, agua y pienso de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón Región Lima .....	pág. 64
8. Comparación de valores de arsénico en truchas vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana .....	pág. 74
9. Comparación de los valores de arsénico agua vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág. 75
10. Comparación de los valores de arsénico en pienso vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág. 76

11. Comparación de los valores de mercurio en “truchas” vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	80
12. Comparación de los valores de mercurio en agua vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	81
13. Comparación de los valores de mercurio en pienso vs límite máximo establecidos por el Codex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	82
14. Comparación de los valores de plomo en “truchas” vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea, Norma Técnica Peruana.....	pág.	86
15. Comparación de los valores de plomo en agua vs límite máximo establecidos por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	87
16. Comparación de los valores de plomo en pienso vs límite máximo establecido por el Códex <i>alimentarius</i> , SANIPES, Comunidad Europea Norma Técnica Peruana.....	pág.	88
17. Datos estadísticos de los valores de arsénico, mercurio y plomo en agua de las piscigranjas del Distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima.....	pág.	92
18. Datos estadísticos de los valores de arsénico, mercurio y plomo en las truchas de piscigranjas del Distrito de Pachangara, provincia de Oyón Región Lima .....	pág.	93
19. Datos estadísticos de los valores de arsénico, mercurio y plomo del pienso que se utilizan en las piscigranjas del Distrito de Pachangara provincia de Oyón, Región Lima.....	pág.	94

## RESÚMEN

El presente trabajo de investigación según sus características del estudio se trata de un diseño experimental observacional, analítico, transversal y se utilizó el método cuantitativo para determinar la concentración de metales pesados en las muestras de “trucha”, agua y pienso que fueron recolectadas de las piscigranjas ubicadas en la jurisdicción del distrito de Pachangara,, Provincia de Oyón, Región Lima – Perú. Las muestras fueron analizadas por el método de espectrofotometría Absorción Atómica. Los resultados obtenidos se compararon con los valores establecidos con el *Códex Alimentarius*, Comunidad Europea, la Norma Técnica Peruana y SANIPES.

Las concentraciones máximas y mínimas de arsénico halladas en muestra de agua de las piscigranjas fueron de 7.480 ppb y 2.100 ppb respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de arsénico en muestra de “trucha” fueron de 1.140 ppb y 0.510 ppb. Las concentraciones máximas y mínimas de arsénico en pienso fueron de 18.030 ppb y de 15.010 ppb respectivamente.

Las concentraciones máximas y mínimas de mercurio en muestra de agua fueron de 1.510 ppb y 0.401 ppb respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de mercurio en muestra de trucha fueron de 0.600 ppb y 0.100 ppb respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de mercurio en pienso fueron de 0.030 ppb y 0.010 ppb respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de plomo en muestra de agua fueron de 0.180 ppm y 0.040 ppm respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de plomo en muestra de trucha fueron de 1.140 ppb y 0.510 ppm respectivamente. Las concentraciones máximas y mínimas de plomo en pienso fueron de 2.030 ppb y 1.910 ppm correspondientemente.

Palabras clave: Metales pesados, arsénico, mercurio, plomo, trucha, piscigranjas.

## SUMMARY

The present research work is an observational, analytical, cross - sectional experimental design and the quantitative method was used to determine the concentration of heavy metals in the samples of trout, water and animal feed that were collected from the piscigranjas located in the jurisdiction of the district of Pachangara, Province of Oyón, Región Lima. The samples were analyzed using the Atomic Absorption spectrophotometer model ICE 3000. They were compared with the values established by International Organizations such as Codex Alimentarius, European Community and also National as Peruvian Technical Standard and SANIPES.

The maximum and minimum concentrations of arsenic found in water samples from fish farms is 7,480 ppb and 2,100 ppb respectively. The maximum and minimum concentrations of arsenic in trout samples is 1,140 ppb and 0.510 ppb. The maximum and minimum concentrations of arsenic in feed is 18,030 ppb and 15,010 ppb respectively.

The maximum and minimum concentrations of mercury in water sample is 1,510 ppb and 0.401 ppb respectively. The maximum and minimum concentrations of mercury in trout samples is 0.600 ppb and 0.100 ppb respectively. The maximum and minimum concentrations of mercury in feed is 0.030 ppb and 0.010 ppb respectively. The maximum and minimum concentrations of lead in water sample is 0.180 ppm and 0.040 ppm respectively. The maximum and minimum levels of lead in trout samples are 1,140 ppb and 0-510 ppm respectively. The maximum and minimum concentrations of lead in feed is 2,030 ppb and 1,910 ppm correspondingly.

Key words: Heavy metals, arsenic, mercury, lead, trout, fish farms.



## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio acuático con metales pesados se ha convertido en un problema mundial y de la preocupación científica, porque los metales son indestructibles y la mayoría de ellos tienen efectos tóxicos en los organismos y encontrándose en algunos alimentos. (Marín G. 2015)

Los metales pesados entran en ríos y lagos de una variedad de fuentes que incluyen las rocas y suelos expuestos directamente a las aguas superficiales, además de la descarga de diversos residuos líquidos tratados y no tratados a los cuerpos de agua y los humanos están expuestos a estos contaminantes sean de origen orgánico e inorgánico. (Baharom & Ishak, 2015)

Hay más de diez (10) metales pesados tales como cobalto (Co), plomo (Pb), mercurio (Hg), arsénico (As), talio (Tl), níquel (Ni), el manganeso (Mn), zinc (Zn), cadmio (Cd) y el cromo (Cr) que tienen un significado particular en la ecotoxicología, ya que son muy persistentes. Los niveles de metales, tales como Mn, Zn, Cr, son tóxicos más allá de un cierto límite, mientras que Pb, Ni y Cd son tóxicos incluso en cantidades traza.

La exposición a altos niveles de estos metales pesados entre muchos efectos puede dañar seriamente el cerebro y los riñones, causar aborto involuntario en las mujeres embarazadas, dañan los órganos responsables de la producción de esperma en los hombres y puede causar la muerte en última instancia. (Covarrubias S., Peña J., 2017)

Los peces por representar varios niveles de la cadena alimenticia acuática, son excelentes indicadores de contaminación por metales pesados, ya que pueden bioacumular y biomagnificar a través de ella altas concentraciones de estos elementos. Ejemplo claro de esto es el mercurio el cual es bioamplificado casi en su totalidad por los peces en forma de metilmercurio, sustancia altamente tóxica y de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, convirtiéndola en elemento clave en el transporte de este metal en las cadenas alimentarias acuáticas que culminan en el consumo humano. (Ramírez, A., Ramos G., Rodriguez H. 2017)

Las actividades humanas, especialmente la minería, contribuyen a la contaminación con liberación y aumento de las concentraciones naturales de los metales pesados en el medio ambiente. La piscicultura en un área cercana o de influencia minera, constituye una de las actividades económicas más vulnerables debido a la exposición y efectos de la bioacumulación de metales pesados tóxicos, afectando el desarrollo y crecimiento normales y su capacidad reproductiva y productiva tanto de los peces de cultivo como de la fauna y flora silvestre, pudiendo provocar en ellos alteraciones en el metabolismo y citoarquitectura de sus órganos de acuerdo a las investigaciones realizadas a exposición natural y controlada. (Senior W., Cornejo M., Tobar J. 2016)

Algunos metales pesados pueden biomagnificarse a través de la cadena trófica, es decir, aumentan su concentración en un organismo a medida que avanza de nivel trófico. La cantidad de metales pesados que ingerimos a través de los alimentos son usualmente mucho más preocupantes que las atribuidas al agua de consumo. Paradójicamente, los metales pesados en el pescado que se ingiere, habitualmente, proviene del agua dulce.

La incorporación de estas sustancias tóxicas en la cadena alimenticia los califica como contaminantes eficaces; por ello, tienen un impacto ambiental drástico en todos los organismos. (Chambi L., Orsag, V., Zurita, A. 2017)

El consumo de “trucha” provenientes de las piscigranjas ubicadas alrededor del pueblo de Churín, que es una zona donde existe el turismo y que el consumo de trucha es uno de los platos preferidos por los visitantes y a la vez que representa la dieta en la zona y que su consumo se puede convertir en un serio problema de salud para las poblaciones que se alimentan con este recurso si están contaminados con altos índices de metales pesados.

## **1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA**

Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas y que provienen de diversas fuentes tales como los desperdicios domésticos, agrícolas, industriales y mineros y que van a perjudicar la biota marina y al hombre y que tendrá un impacto negativo en el medio ambiente. (Alvarez R., Amancio F., 2014)

La “trucha” concentra los metales pesados en su organismo por lo que son un indicador importante de la contaminación y, por tanto, son la principal fuente de contaminación en humanos. Dadas las graves consecuencias de su intoxicación, se tomarán muestras de pescado para determinar los niveles de metales pesados. La exposición a metales pesados, en la población, sobre todo en niños de edad escolar (que son los más vulnerables), produce trastornos metabólicos en relación directa con la concentración. Las alteraciones pueden crear, en grados variables, deterioro de la capacidad intelectual, cambios en la conducta y en el comportamiento, bloqueo de la hematopoyesis, toxicidad renal, neuropatía periférica, trastorno respiratorio o cáncer pulmonar, pudiendo llevar a la persona hasta la muerte. Por ello, se hace importante un estricto control de estos metales en pescado de consumo humano. (Alvarez R., Amancio F., 2014)

El presente trabajo busca tomar medidas de prevención frente a la exposición de metales pesados como arsénico, plomo y mercurio, y otros ya que éstos resultan ser un peligro para la salud.

Es por ello el interés en el desarrollo del presente trabajo de investigación que surge en preocupación de la salud pública por el consumo de alimentos contaminados.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Las actividades humanas, especialmente la minería, contribuyen a la contaminación con liberación y aumento de las concentraciones naturales de los metales pesados en el medio ambiente. La piscicultura en un área cercana o de influencia minera, constituye una de las actividades económicas más vulnerables debido a la exposición y efectos de la bioacumulación de metales pesados tóxicos, afectando el desarrollo, crecimiento, capacidad reproductiva tanto de los peces de cultivo como de la fauna y flora silvestre, pudiendo provocar en ellos alteraciones en el metabolismo y citoarquitectura de sus órganos de acuerdo a las investigaciones realizadas a exposición natural y controlada.

### **1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL**

¿Cuáles serán las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo contenidas en las “truchas” de consumo humano, piensos para “truchas” y agua de piscigranjas ubicadas en el distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima - Perú?

### **1.3.JUSTIFICACION TEÓRICA**

Uno de los elementos más importantes en los ecosistemas acuáticos son los peces, los cuales se encargan de transformar la energía contenida en los organismos de niveles tróficos inferiores en energía capaz de ser aprovechada por el ser humano. Los peces dulceacuícolas viven en las más variadas masas de agua, siempre y cuando estas ofrezcan un mínimo de condiciones de espacio, persistencia y calidad. La “trucha” por su contenido proteico y la textura de su carne hacen que sea un alimento de alta calidad nutricional, la cual es una alternativa al complemento alimenticio, ya que 250 g proporcionan el 88% de las proteínas requeridas por los niños y el 68% en los adolescentes. (Flores, M. 2018)

La minería y los relaves pueden contribuir a contaminar el agua de sustancias altamente toxicas como cobre, cinc, plomo, mercurio, entre otras, debido a que estos metales suelen ser acumulativos, la ingesta repetida de pequeñas cantidades determina al cabo del tiempo altas concentraciones de metales en los tejidos de los organismos.

El plomo y otros metales tienen múltiples efectos contraproducentes en los animales que se encuentran expuestos permanentemente a estos metales. El plomo por su parte puede afectar la capacidad de supervivencia, aprendizaje y reproducción; retardar el crecimiento, y generar numerosas lesiones del metabolismo en general del ser humano. Además, tiene la habilidad de permanecer y almacenarse en los organismos vivos, biomagnificándose cada vez más en la cadena alimenticia, hasta llegar a los humanos. (Fernández Jaimes A.& Tejada Pacus, F. 2015)

Por todo lo antes mencionado es importante conocer la concentración de metales pesados en alimentos como la “trucha” y así prevenir futuras intoxicaciones y a la vez crear programas de concientización de contaminación en ríos de nuestro país.

## **1.4.JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

El desarrollo de la minería ya sea artesanal y pequeña minería esta inevitablemente acompañada de contaminación de los ambientes acuáticos. Por lo tanto los ríos están expuestos no solo al incremento de las cantidades de los materiales naturales tales como metales y nutrientes, sino también al aumento de contaminantes derivados de los procesos de extracción de minerales, estos elementos que en la mayoría de los casos muestran una capacidad significativa de persistencia en el medio y con bioacumulación en organismos como los peces.

El presente trabajo consiste en analizar a la “trucha”, el pienso y las aguas de las piscigranjas de metales pesados como arsénico, mercurio, plomo y comparar si sus concentraciones superan los límites máximos permitidos según el *Códex alimentarius* y la Normativa Peruana.

## **1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la presencia y concentración de arsénico, mercurio y plomo en truchas, piensos y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima - Perú.

### 1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar la presencia y concentración de arsénico en “truchas” de piscigranjas ubicadas en el distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima – Perú.
- Determinar la presencia y concentración de mercurio en “truchas” de piscigranjas ubicadas en el distrito de Pachangara, provincia de Oyón, Región Lima – Perú.
- Determinar la presencia y concentración de plomo en “truchas” de piscigranjas ubicadas en el distrito de Pachangara, provincia de Oyón, Región Lima – Perú.
- Determinar la presencia y concentración de arsénico, mercurio y plomo en aguas de piscigranjas de “truchas” del distrito de Pachangara, provincia de Oyón, Región Lima – Perú.
- Determinar la presencia y concentración de arsénico, mercurio y plomo en piensos para “truchas” criadas en piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón, Región Lima – Perú.
- Comparar y analizar los resultados de las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo con los límites máximos permitidos según el *Códex alimentarius* y la Norma Técnica Peruana.

### 1.6. HIPÓTESIS

Las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo en “truchas”, piensos y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima superan los límites máximos permitidos por el Codex Alimentarius y la Norma Técnica Peruana.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 MARCO FILOSÓFICO EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Desde la antigüedad la pesca ha sido una de las principales actividades de recolección de alimentos y materias primas realizada por el hombre, siendo los mares, lagos y ríos la fuente natural de dichos recursos. En la actualidad existen sitios acondicionados por el hombre para la crianza de peces en estanques artificiales permitiendo una producción técnica y controlada de animales acuáticos. La producción de peces en estanques es una práctica, presumiblemente desarrollada por los primeros agricultores como uno de los muchos sistemas de producción primaria dirigidos a asegurar el aprovisionamiento de alimentos. La piscicultura puede ser definida como la reproducción y crecimiento controlado de animales acuáticos mediante un sistema de proceso biotecnológicos, orientados al cultivo o crianza de peces, es decir estudia las bases biológicas y elabora técnicas para el cultivo de peces. (Barzola Común, R. 2017)

El consumo de truchas es parte de la dieta de los peruanos ya que posee un importante valor nutricional como proteínas, Omega 3, Omega 6 además de vitamina B<sub>12</sub> los cuales ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares al reducir la hipertensión y el colesterol a la vez tiene bajo aporte calórico, es decir que 100 gramos de “trucha” aporta 90 calorías y solo 3 gramos de grasa. En la antigüedad las personas que gustaban de la “trucha” tenían que obtenerlo mediante la pesca en ríos y lagos de la región interandina, en la actualidad gracias al incremento de piscigranjas su obtención es mucho más fácil.

### 2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- Gamarra N., Uceda R. En un estudio de investigación realizado en el 2017 “Determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica en Truchas Arco Iris “*Oncorhynchus mykiss*” del río Chiapuquio de Ingenio- Huancayo. Realizaron estudios de concentración de plomo en hígado teniendo como resultado 0,00073 mg/kg y en branquias 0,01715 mg/kg

mientras que la concentración de cadmio en hígado fue de 0,00023 mg/kg y en branquias 0,05106 respectivamente comparando con los límites máximos permisibles de la Unión Europea (UE), Codex *Alimentarius* y la Norma Peruana de Sanidad Pesquera (SANIPES) se encuentran por debajo del límite permisible. Por otro lado realizaron análisis de agua para plomo y cadmio obteniendo concentraciones de 0,01 mg/L y 0,02 mg/L respectivamente. (Gamarra Avila, N. & Uceda León, R. 2017)

- Otro estudio realizado por Huancaré R. (2014), en la tesis “Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la laguna de Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca - Perú.” Que la concentración de metales pesados como arsénico, cadmio y mercurio en sedimento estuvieron por encima del nivel permitido, en el agua encontraron niveles de 2,2 µg/L. de arsénico, en mercurio fueron 0,1 µg/L. plomo fue de 1,0 µg/L. Y los tres tejidos analizados bioacumularon mayor cantidad de zinc y bario (músculo – hígado - branquias) y en menor cantidad cadmio, cromo, cobre y plomo siendo para este metal 0,03 mg/kg. hallándose en branquias las alteraciones más importantes, las lamelas presentaron degeneración hidrópica, acortamiento, fusión y necrosis, en el filamento se observó hiperplasia de células basales indiferenciadas y necrosis. (Huancaré, R. 2014)
- En un estudio realizado por Boy A. (2015). “Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del Lago de Izabal”, realizado en Guatemala utilizando la técnica de Fluorescencia de Rayos X, determinaron la presencia de zinc, estroncio, níquel y arsénico con concentraciones de 0,53; 0,17; 0,59 y 0,01 µg/g respectivamente, indican a la vez que las concentraciones halladas se encuentran dentro del rango permisible (2,0 µg/g) según la Organización Mundial de la Salud (OMS). (Boy, A. 2015)



- En un estudio realizado por Senior M., et al. (2016). “Metales pesados (cadmio, plomo y mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en el Ecuador”. Utilizando la espectrofotometría de absorción atómica determinaron la concentración de cadmio en pescado de 0,19 mg/kg en comparación con la Norma que establece la Unión Europea es de 0,05 mg/kg, lo anterior indica que los pescados congelados vendidos en la Ciudad de Machala superan a la entidad reguladora antes mencionada. En cuanto al plomo en pescado se encontró concentraciones promedio de 0,21 mg/kg, el valor supera ligeramente determinado por la Unión Europea que establece un valor máximo permitido de 0,2 mg/kg respectivamente. También se reporta las concentraciones de arsénico en pescado siendo en promedio de 4,25 mg/kg donde superan los límites máximo permisibles (0,2 mg/kg) de diferentes normas y referencias (FAO 2010, Unión Europea 2016). Senior M., et al. (2016).

## 2.3 BASES TEÓRICAS

### 2.3.1 Generalidades de la trucha “Arco Iris” (*Oncorhynchus mykiss*).

La “trucha” Arco Iris fue nombrada como *Salmo gairdneri* por Richardson en 1836, pero en la actualidad adopta la denominación inicial de *Oncorhynchus mykiss* fue propuesta por Walbaumen 1972. (Chiroque Limaymanta, T. 2014)

La “trucha” Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia *Salmonidae*, originaria de las costas del Pacífico de América del Norte, que debido a su fácil adaptación al cautiverio, su crianza ha sido ampliamente difundida casi en todo el mundo. En América del Sur, se encuentra distribuida en Argentina, Brasil, Bolivia Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. La introducción de esta especie en el Perú tuvo lugar en el año 1928, desde los Estados Unidos de Norteamérica, con una cantidad de 50,000 huevos, los mismos que fueron instalados en un criadero a orillas del

río Tishgo, en La Oroya – Junín, distribuyéndose a los ríos y lagunas de Junín y Pasco. (Vargas Quispe, 2014)

### 2.3.2 Taxonomía

<b>Reino:</b>	<b>Animal</b>
Sub Reino:	<i>Metazoa</i>
Phylum:	<i>Chordata</i>
Sub Phylum:	<i>Vertebrata</i>
Clase:	<i>Osteichthyes</i>
Sub Clase:	<i>Actinopterygii</i>
Orden:	<i>Isospondyli</i>
Sub Orden:	<i>Salmonidei</i>
Familia:	<i>Salmonidae</i>
Género:	<i>Oncorhynchus</i>
Especie:	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Nombre Vulgar:	“Trucha arco iris”

Figura 1: Morfología de la trucha



Fuente: MIPE Manual de la Trucha

### 2.3.3 Biología de la trucha

Es un pez de cuerpo fusiforme, es de color azulado y flancos laterales de color plateado iridiscente, la parte ventral es blanco cremoso tanto en el dorso como en los flancos, una gran abundancia de lunares negros y marrones, En estado libre esta especie puede alcanzar de 50 a 70 cm. de longitud y de 4 a 5 kg. de peso, La “trucha” es un pez carnívoro que se alimenta en la naturaleza de presas vivas que captura, El macho se diferencia de la hembra por tener el cuerpo más alargado y la cabeza triangular, en cambio la hembra tiene el cuerpo más ensanchado y cabeza redonda, La “trucha” es ovípara, pero no se reproduce en cautiverio. (Flores Mamani, M. 2018)

Esta especie se caracteriza por tener el cuerpo cubierto con finas escamas y de forma fusiforme (forma de huso), la coloración de la trucha varía de acuerdo al ambiente en que vive, edad, estado de maduración sexual y otros factores, como por ejemplo la influencia del ambiente en riachuelos sombreados presentan color plomo oscuro mientras que en un estanque bien expuesto a los rayos del sol ofrece una tonalidad mucho más clara, verde oliva en su parte superior luego una franja rojiza para finalizar con el abdomen blanco; además posee gran número de máculas negras en la piel, a manera de lunares, por lo que en otros lugares se le llama también trucha pecosa. La denominación de trucha arco iris se debe a la presencia de una franja de colores de diferentes tonalidades, con predominio de una franja rojiza sobre la línea lateral en ambos lados del cuerpo. (Chiroque Limaymanta, T. 2014), (Flores Mamani, M. 2018)

La reproducción de la “trucha” en el Perú se inicia aproximadamente en abril y se prolonga hasta el mes de septiembre, siendo los meses de Junio y Julio los de mayor actividad reproductiva, los periodos de desove son anuales, es decir las “truchas” desovan una sola vez por año, esta actividad se realiza tanto en ambientes naturales, como en cautiverio (piscigranjas ). (Flores Mamani, M. 2018)

La temperatura más adecuada para la “trucha arco iris” en la producción cárnica, en la que sus funciones fisiológicas se realizan en forma óptima, es de 15°C. Pero crecen muy bien a temperaturas de 17 a 18°C. Experimentalmente se ha comprobado que la temperatura óptima para el metabolismo de la “trucha arco iris” es de 18°C, es decir que a esta temperatura la trucha consigue un aprovechamiento máximo del pienso, desde el punto de vista del piscicultor y por tanto una máxima conversión del alimento. (Flores Mamani, M. 2018)

Se menciona que el bajo nivel de seguridad de oxígeno para la trucha es 5 – 5,5 ppm. pero que 7 ppm. es preferible. La cantidad mínima de oxígeno disuelto en el agua, necesaria para mantener a una trucha en perfecta vitalidad. Se encuentra alrededor de 9 mg/L, el *pH* del agua debe ser neutra o ligeramente alcalino, con valores que oscilen entre un mínimo de 7 y un máximo de 8,5. La alcalinidad se refiere a ciertos aniones (carbonatos, carbonato, hidróxido). Los rangos permisibles son de 20 – 200 ppm. La dureza totales la cantidad de sales totales en miligramos y expresados como carbonato de calcio los rangos permisibles son de 60 – 300 ppm. los cuales permiten un crecimiento adecuado de la “trucha”. (Vargas Quispe, C. 2014)

Los nutrientes son importantes y responsables de la productividad primaria del agua cuyas concentraciones son:

Nitrito: No mayor de 0,05 mg/L

Nitrato: No mayor de 100 mg/L

Amonio: No mayor de 0,012 mg/L

Fierro: No mayor de 1,0 mg/L

Cobre: No mayor de 0,06 mg/L

Hidrogeno. Sulfato: No mayor de 0,002 mg/L. (Vargas Quispe, C. 2014)

#### **2.3.4. Etapas de desarrollo de las truchas**

El desarrollo biológico de la trucha comprende varias etapas:

- a. Ova:** Son los huevos fecundados que después de un promedio aproximado de 30 días de incubación, eclosionan para convertirse en larva.

Figura 2: huevos fecundados de trucha



Fuente: Crianza de “trucha”. Ragash 2009.

- b. Alevino:** Son peces pequeños que miden de 3 cm. a 10 cm. Con un peso que oscila entre 1,5 g a 20 g.

Figura 3: Alevino de “trucha”



Fuente: Crianza de “trucha”. Ragash 2009.

- c. Juvenil:** Son peces que miden de 10 cm. a 15 cm. Cuyo peso es generalmente de 20 g a 100 g.

**d. Comercial:** Es la etapa especial, donde los peces han recibido el proceso de engorde para ser comercializados, estos miden 15 cm. a 22 cm. con un peso de 100 a 200 g. (Lagos Mendoza, L. 2015)

## **2.4 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ACUICULTURA DE LA “TRUCHA” EN EL PERÚ**

Debido a las adecuadas condiciones fisicoquímicas y biológicas que presentan las lagunas y ríos alto andinos, observados por la empresa Cerro de Pasco Copper Corporation en 1952 se promovió la introducción de “trucha” de la especie *Oncorhynchus mykiss*, anteriormente denominada *Salmo gairdneriirideus*, efectuando un acondicionamiento de un ambiente artificial en el distrito de La Oroya para llevar a cabo el proceso de incubación y el desarrollo de los primeros ejemplares de “trucha” llegados al Perú. (FONDEPES, 2014). (Chiroque, 2014)

Así se dio inicio a la acuicultura extensiva de la “trucha” en el Perú, gracias a los buenos resultados que se obtuvieron en su oportunidad, llegó a determinarse que esta especie, se adapta eficientemente a las condiciones bioecológicas de los ambientes acuáticos de las zonas alto andinas (lagunas y ríos), La actividad de crianza de “truchas” en el Perú, viene creciendo vertiginosamente en los 10 últimos años, principalmente a nivel intensivo, identificando sistemas de cultivo: en ambientes convencionales (estanques de concreto, mampostería de piedra, tierra y otros) y no convencionales (jaulas flotantes). Este último sistema ha logrado un mayor desarrollo, siendo la Región Puno la que cuenta con el 98% de unidades productivas en jaulas flotantes. Para el caso de estanques de concreto, mampostería y tierra, la Región Junín cuenta con el mayor número de unidades productivas convencionales. El aporte de ambas regiones constituye alrededor del 88.4% de la producción nacional de “truchas”. (FONDEPES, 2014)

## 2.5 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La contaminación ambiental ocasionado por metales pesados se identifica como uno de los problemas ambientales más acuciantes debido a sus efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana, por lado debido a su movilidad en los sistemas acuosos, su toxicidad y su alta capacidad de acumularse. (Gutiérrez, O., González, J., Álvarez, Freire, M., Rodríguez, I., Moreira, A. 2015). (Bertolotti, F., Noé, N. 2018).

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas. Se incorporan con los alimentos o como partículas que se respiran y se van acumulando en el organismo, hasta llegar a límites de toxicidad. (Apaza Porto, H. 2016), (Gutiérrez, O. et al., 2015).

De los 106 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas. Hay que tener presente que los metales son materias naturales que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. El problema surge cuando prolifera su uso industrial. Y su empleo creciente en la vida cotidiana termina por afectar a la salud. De hecho, el crecimiento demográfico en zonas urbanas y la rápida industrialización han provocado serios problemas de contaminación y deterioro del ambiente, sobre todo, en los países en vías de desarrollo.

Los metales son elementos que se encuentran naturalmente en los ecosistemas acuáticos debido a diversos procesos tales como desgaste y la erosión. De estos metales algunos son esenciales para la vida de los organismos en cantidades traza (por ejemplo cobre y zinc). Los elementos traza esenciales tienen un estrecho intervalo óptimo de concentración para el crecimiento y la reproducción, y tanto el exceso y la escasez puede ser perjudicial para los organismos, otros metales (por ejemplo, cadmio y plomo) no

tienen ninguna función biológica conocida. (Arrieta, A., Corredor, W., Vera, J. 2015). (Afan, K. & Flores, M. 2018)

Ciertamente que estos metales traza no esenciales, por ejemplo el cadmio, son los principales contaminantes de acuático ambientes y que son tóxicas para los organismos acuáticos. Incluso a concentraciones que se encuentran en las aguas naturales.

Contaminantes como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas. Los metales pesados son potencialmente contaminantes devastadores ya que contaminan el aire, el agua y la tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas. Sus efectos en las plantas incluyen: necrosis en las puntas de las hojas e inhibición del crecimiento de las raíces, junto con muchas fatalidades en muchas especies de plantas incapaces de tolerar estos metales. (Boy Mansilla, A. 2015)

La actividad industrial y minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo, muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. De hecho, la toxicidad de estos metales ha quedado documentada a lo largo de la historia: los médicos griegos y romanos ya diagnosticaban síntomas de envenenamientos agudos por plomo mucho antes de que la toxicología se convirtiera en ciencia. (Castro Guerrero, R. 2017)

En los seres humanos y en los animales su concentración va acumulándose a lo largo de la cadena alimenticia, por lo que la ingesta de animales y vegetales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.



## 2.6 PLOMO

### 2.6.1 Antecedentes históricos

El plomo fue uno de los primeros metales que utilizó el hombre para trabajar. Los egipcios como los babilonios y los fenicios explotaron minas de plomo en España desde el año dos mil antes de Cristo, los romanos emplearon el plomo para la fabricación de ductos y utensilios diversos y especialmente para el almacenamiento del vino. Durante la edad media fue muy usado para techar edificios públicos y catedrales. En el año 370 AC. Hipócrates relacionó por primera vez los síntomas de un hombre que extraía metales, con la exposición al plomo. Nicandro 200 AC asoció el cólico, la constipación, la palidez, y algunas alteraciones oculares con la exposición de plomo. La práctica de endulzar el vino adicionándole sales de plomo se prohibió por ley en el siglo XV. Sin embargo esta práctica persistió por lo que se siguieron registrando cólicos saturninicos en los consumidores de esos vinos. En el siglo XVI Paracelso describió el cuadro clínico que denominó la “la enfermedad del minero”. (López Chávez, J. 2017), Ramazzini detectó temblor y parálisis de los miembros superiores en los alfareros que manejaban plomo. En 1892 Garrod detectó el incremento en la excreción de protoporfirinas con la orina en individuos expuestos crónicamente con plomo. La intoxicación de niños con pintura a base de plomo fue descrita por primera vez en Brisbane Australia en 1897. Se creía que después de una intoxicación aguda con plomo, la recuperación era completa sin embargo Byers y Lord refutaron esto en 1943, cuando encontraron problemas de retraso mental después de una intoxicación aguda. Es un metal resistente a la acción del ácido sulfúrico, pero se disuelve fácilmente con ácido nítrico y en ácido orgánicos dando lugar a sales solubles. El plomo es un constituyente natural del suelo y del polvo, sus concentraciones normales en un suelo no contaminado están entre los 10 y los 50 mg/kg, pero las actividades humanas pueden aumentar estos niveles de 10 a 200 veces. Asimismo, el plomo no cumple algún papel en la fisiología humana. (Dávila Olano, C.E. 2017).

### **2.6.2 Fuentes naturales de plomo**

El plomo que se presenta en la naturaleza principalmente como sulfuro o galena, es el más abundante de los metales pesados de la corteza terrestre.

Este metal se encuentra distribuido en el ambiente. En su mayoría proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. El Pb tiene muchos usos diferentes, tales como la fabricación de baterías, municiones, productos de metal (soldaduras y cañerías) y en láminas de protección contra los rayos X. (Carpio Rivera, N. Y. 2016)

Debido a los grandes riesgos en la salud por exposición a este metal; la cantidad de Pb en pinturas y cerámicas y en materiales para recubrimientos y soldar se ha reducido considerablemente en los últimos años.

La intoxicación por Pb ocurre luego de la exposición a este metal; este tiene muchos usos y fuentes como pueden ser baterías para autos ya mencionadas, aditivo en la gasolina, revestimiento de cables, producción de tuberías, cisternas, protección de materiales expuestos a la intemperie, fabricación de municiones, pigmentos para pinturas y barnices, fabricación de cristales, esmaltado de cerámica, litargirio, soldadura de latas, bijutería, juguetes, balas, las fundiciones de plomo, la fabricación y desarmado de baterías para autos y la industria de la cerámica constituyen la principal fuente de intoxicación laboral en nuestro medio. (Pinzón Choque, C. 2015), (Afan Rojas, K. & Flores Mamani, M. 2018)

### **2.6.3 Límites de exposición**

Límite de exposición son aquellos que no deben, en ningún caso, ser superados y a partir de los cuales debe alejarse al trabajador del puesto habitual y de la exposición en general. Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud a la

aplicación industrial de controles modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. (Londoño Franco, L., Londoño Muñoz, P., Muñoz Garcia, F. 2016)

Se adopta el valor de plumbemia de 40  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$  en adultos y 10  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$  para niños.

El valor límite de la concentración ambiental de plomo se establece en 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire referido a 8 horas diarias y 40 semanales. El valor límite de plumbemia se establece en 70  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$ , admitiéndose una plumbemia de 80  $\mu\text{g}/100\text{ mL}$  siempre que el valor de la protoporfirina zinc (ZPP) en sangre sea inferior a 20  $\mu\text{g}/\text{g}$  de hemoglobina. (Tello Atiencia, M. 2015)

## **2.6.4 Toxicocinética del Plomo (Pb)**

El plomo puede ser inhalado y absorbido a través del sistema respiratorio o ingerido y absorbido por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea del plomo inorgánico es mínima, pero el plomo orgánico si se absorbe bien por ésta vía casi el 40% de los vapores de óxido de plomo inhalados se absorbe a través del aparato respiratorio. La absorción del polvo de plomo depende del tamaño (menores a 5 micras) y solubilidad de las partículas y del volumen/minuto respiratorio. En el organismo, el plomo inorgánico no se metaboliza. (Afan Rojas, K. & Flores, M. 2018)

Por la vía oral las partículas de polvo de plomo son ingeridas directamente a través de las manos, alimentos, bebidas o cigarrillos contaminados en el ambiente de trabajo, también un porcentaje de plomo que después de haber sido inhalado es posteriormente vertido al tubo digestivo por los mecanismos de aclaramiento pulmonar. Del 5 al 10% del plomo ingerido por esta vía pasa a sangre, siendo el resto eliminado por las heces. Por otra parte la absorción de plomo por esta vía es más elevada en la mujer que en el hombre. No respetar las reglas de higiene en el lugar de trabajo (comer, beber o fumar), así como deficiencias en la higiene personal y/o deficiencias en las instalaciones sanitarias en la empresa pueden tener como consecuencia una entrada importante del tóxico por esta vía.

Por la vía cutánea la absorción es débil en el caso del plomo inorgánico al contrario que en el del plomo orgánico. La distribución y almacenamiento en el organismo del plomo pasa a sangre se establece un intercambio dinámico entre los diferentes tejidos a los que el plomo se dirige. Estudios científicos realizados sugieren que un modelo de tres compartimentos permite explicar la distribución del plomo en el organismo humano. Tras la inhalación o ingestión el plomo absorbido pasa al torrente sanguíneo, desde donde se distribuye a los diferentes compartimentos. (Tello Atiencia, M. 2015)

El 95 % del plomo sanguíneo está unido a los eritrocitos. La vida media del plomo en el compartimento sanguíneo es de 35 días, pero pueden existir grandes variaciones individuales. El segundo compartimento lo constituyen los tejidos blandos (tejido nervioso, riñón, hígado, etc.). La vida media del plomo en este caso es de 40 días. De entre todos los compartimentos el esqueleto es quien contiene la gran mayoría (80-90 %) del plomo almacenado en el organismo. La vida media del plomo en el hueso es de 20 a 30 años. Una parte del plomo depositado a nivel óseo (tejido óseo trabecular) se encuentra en forma inestable, y por tanto fácilmente movilizable en determinadas condiciones (acidosis, decalcificación) y en equilibrio con la sangre. El resto queda almacenado (tejido óseo compacto) y va aumentando progresivamente a medida que continúa la exposición. Tanto los tejidos blandos como la sangre constituyen las unidades de intercambio activo, mientras que el esqueleto constituye la unidad de almacenamiento o de intercambio lento. El plomo absorbido es eliminado principalmente a través de la orina. Una pequeña parte es eliminada a través de la bilis en las heces. La porción de plomo que ha sido ingerida y no absorbida es igualmente eliminada por las heces. Otras vías de eliminación son la saliva, el sudor, las faneras y la leche. (Llahuilla Quea, J. 2017), (Luna Arenas, R. 2016)

### **2.6.5 Toxicodinamia: Efectos del plomo sobre el sistema nervioso central**

El plomo es un neurotóxico periférico y central. Interfiere la liberación de la acetilcolina o bien la reabsorción de colina y la síntesis consecuente de acetilcolina. La adenil-ciclasa del SNC es inhibida por el plomo.

Con niveles de Pb-B inferiores a 60 µg/ 100 ml puede existir ya un enlentecimiento de la velocidad de conducción del impulso nervioso. Algunos autores sugieren el uso de estudios electromiográficos en la evaluación de la exposición crónica. (Luna Arenas, R. 2016)

### **2.6.6 Efectos del plomo a nivel renal**

La absorción del Pb en el tracto gastrointestinal depende de las características de la persona y de las propiedades físico-químicas del alimento ingerido. Del Pb ingerido solo el 5-15% es absorbido en adultos, en niños la cantidad absorbida puede llegar a ser del 50%. El Pb absorbido es transportado en la sangre fundamentalmente en los eritrocitos desde donde se traslada a los tejidos blandos, incluyendo riñón, hígado y tejido óseo donde se acumula con los años.

Se distinguen tres fases en la respuesta renal a una exposición prolongada al plomo:

- Primera fase (de duración inferior a un año): caracterizada por la presencia de inclusiones intranucleares del complejo plomo-proteína en las células tubulares, excreción elevada de plomo; no hay todavía perturbación de la función renal.
- Segunda fase: tras algunos años de exposición las células tubulares han perdido la capacidad de formar inclusiones intranucleares.  
Los riñones excretan menos plomo y presentan un cierto grado de fibrosis intersticial. La función renal comienza a alterarse.
- Tercera fase: se produce una nefritis crónica. La lesión es principalmente tubular si bien puede afectar también a nivel glomerular.

En una revisión de estudios sobre nefropatía plúmbica se aportan datos sobre la utilidad de la N-acetil-beta-D-glucosaminidasa urinaria (NAG) como marcador

precoz de daño renal, aunque las relaciones de los niveles de plomo en sangre y NAG sean poco consistentes. (Marín Viluendas, S. 2014)

### **2.6.7 Efectos del plomo sobre la reproducción**

Según datos de la Organización Internacional del Trabajo, el plomo puede ser transmitido de la madre al feto por transferencia placentaria estando expuesto a casi la misma concentración de plomo que la madre.

A este nivel se ha descrito un aumento de abortos espontáneos, así como el aumento de la tasa de morbi-mortalidad en recién nacidos. En el hombre ha sido observada hipoespermia como efecto del plomo. También la exposición paterna está asociada con la aparición de abortos. (Luna Arenas, R. 2016)

### **2.6.8 Efectos sobre el sistema cardiovascular**

Ha sido descrito el efecto favorecedor del plomo en el desarrollo de afecciones cardiovasculares: hipertensión y aumento de riesgo coronario, entre otros. Un aspecto interesante constatado en los últimos estudios es la relación causal entre bajos niveles de exposición e hipertensión arterial.

También se ha encontrado mayor riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en trabajadores expuestos al plomo.

Las alteraciones cardíacas pueden producirse por tres mecanismos:

- hipertensión arterial por afectación renal primaria,
- aumento de las resistencias periféricas por alteración de la pared de los vasos sanguíneos ,
- por infiltración celular en el tejido específico de conducción.

### **2.6.9 Efecto del plomo en los niños**

Los lactantes y niños de edad preescolar constituyen un grupo muy expuesto en lo que concierne a la absorción y toxicidad de plomo; comparativamente con los adultos, los factores influyentes pueden ser:

- Metabolismo más activo
- Crecimiento corporal más rápido
- Composición corporal diferente.
- Inmadurez del sistema nervioso.
- Desarrollo incompleto de ciertos órganos y tejidos (como los huesos y el cerebro).

Los lactantes absorben entre el 40 y 53% del plomo ingerido y retienen el 30% aproximadamente.

En los niños el sistema esquelético crece de manera exponencial; en la primera infancia el esqueleto aumenta 40 veces su masa original y durante este período tiene mayor capacidad para acumular el plomo. Los daños causados por el plomo en los niños son permanentes. El metal se acumula en los huesos lentamente, impidiendo el crecimiento y deteriorando el cerebro. El envenenamiento debe ser diagnosticado por un médico, pero los padres también pueden darse cuenta de ciertas señales indicativas como: sueño, intranquilo, comportamiento errático y dificultades en las matemáticas, la lectura, la escritura y otras frases del aprendizaje en la escuela. Si la concentración del plomo en la sangre es suficientemente alto, el niño podría morir. (Molina Villalba, I. 2015)

#### **2.6.10 Usos Industriales**

La ductilidad única del plomo lo hace particularmente apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de conductores eléctricos internos. El 40 % se usa en forma metálica, el 25 % en aleaciones y el 35 % en compuestos químicos.

El uso del plomo en pigmentos ha sido muy importante, pero está decreciendo en volumen. El pigmento que se utiliza más, en que interviene este elemento, es el blanco de plomo  $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ; otros pigmentos importantes son el sulfato básico de plomo y los cromatos de plomo. (Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. & González, E.E. 2016)

## 2.7 MERCURIO

El mercurio es el único metal líquido a temperatura ambiente, además se puede encontrar en su estado elemental y se puede hallar como derivados inorgánicos y derivados orgánicos. (Reyes et al., 2016)

Su abundancia relativa en la corteza terrestre es de 0,08 partes por millón (ppm). Se combina con otros metales formando aleaciones (amalgamas) y debido a esta propiedad, fue extensamente usado durante épocas pasadas en la minería del oro y aún en la actualidad, en explotaciones de tipo artesanal.

El mercurio es un metal pesado que forma parte de los compuestos tóxicos persistentes, de gran ubicuidad y conocida neurotoxicidad sobre todo para el cerebro en desarrollo, conocido desde la antigüedad y utilizado con fines terapéuticos en China, Egipto, Grecia y Roma, los signos tóxicos de la intoxicación a mercurio ya fueron descritos en los esclavos que trabajaban en las minas de Almadén (Ciudad Real) en la época de los romanos siendo en el siglo XVIII cuando se describe la intoxicación a mercurio como enfermedad profesional padecida por los trabajadores expuestos, en la literatura también se ha sido descrita la utilización del mercurio como veneno en Hamlet, el príncipe de Dinamarca. El mercurio es el único metal que es líquido en su forma elemental a temperatura ambiente; se produce de forma natural en la corteza terrestre aunque aproximadamente la mitad de las emisiones son de origen antropogénico debidas principalmente a las centrales de producción de electricidad alimentadas con carbón, residuos fósiles, la incineración de residuos, su utilización en la producción cloro álcali, y otras actividades industriales. Está presente en termómetros, barómetros, baterías y equipos eléctricos (termostatos), etc.

**Mercurio Elemental o metálico:** Metal brillante plateado, líquido a temperatura ambiente. Es el que se descarga a la atmósfera en los procesos naturales (volcanes). Su procedencia está en termómetros, esfingomanómetros, amalgamas dentales, uso místico (santería).

**Mercurio Inorgánico:** Es el elemental combinado con otros elementos produciendo las sales mercuriales. Polvo blanco o cristal excepto el cinabrio (forma en la que se



extrae de las minas) que es de color rojo que vira al negro en contacto con el aire. Se encuentra en cremas blanqueadoras de la piel, antisépticos, desinfectantes y productos médicos diversos; fungicidas (todos ellos prohibidos actualmente), medicinas tradicionales etc.

**Mercurio orgánico (metilmercurio, etilmercurio):** El mercurio que se emite a la atmósfera se deposita en la superficie de la tierra, al entrar en contacto con superficies acuáticas se transforma en un tipo de mercurio orgánico, el metilmercurio, por acción de los microorganismos (bacterias y hongos). De esta forma entra en la cadena alimentaria marina, donde se produce un proceso de acumulación y biomagnificación en peces y mamíferos marinos, presente también en fármacos como timerosal, conservante de algunas vacunas. (López Osorno, S. 2013)

### 2.7.1 Características químicas de interés biológico

El mercurio se presenta en las cadenas tróficas en dos grupos de especies químicas, inorgánicas y orgánicas, con características toxicológicas diferentes. Las especies inorgánicas, dentro de las cadenas tróficas, están constituidas por el propio Mercurio metal, el óxido de mercurio  $\text{HgO}$  y dos especies iónicas, el catión mercúrico  $\text{Hg}^{2+}$  y el mercurioso  $\text{Hg}^+$ ; mientras que las especies orgánicas son habitualmente tres: el dimetil mercurio  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ , el metil mercurio  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  y el fenil mercurio  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$ .

De las especies orgánicas, la que más interés tiene es el metil mercurio  $(\text{CH}_3)\text{Hg}^+$ , que es acumulado por los animales marinos, y por tanto incorporado a las cadenas tróficas con facilidad. El descubrimiento de esta especie en los peces dio lugar al esclarecimiento del ciclo biológico del mercurio. También son interesantes las propias sales del metil mercurio  $(\text{CH}_3)\text{Hg X}(\text{Cl}, \text{Fosfatos})$  y el fenil mercurio y sus sales  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg X}(\text{Cl}, \text{acetato})$ , usados en el tratamiento de semillas. Estas especies orgánicas son liposolubles y fácilmente absorbibles, acumulándose en glóbulos rojos y producen alteraciones importantes en el sistema nervioso central. . (López Osorno, S. 2013)

### **2.7.2 Límites de exposición**

La exposición de niveles altos de arsénico inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados. La exposición prolongada puede causar intoxicación crónica. (Huanri Pacotaype, J. 2014)

Debido a que en la Normativa Peruana no se contempla un límite o valor máximo permitido para metales pesados como Plomo, Cadmio, Níquel, Manganeso, Mercurio y Arsénico en pescado se usarán los valores establecidos por Organizaciones Internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Reglamento de la Unión Europea y el Codex *Alimentarius*.

### **2.7.3 Toxicocinética del Mercurio**

Los dos grandes episodios de intoxicación por mercurio fueron ocurridos en la bahía de Minamata y Niigata en el Japón en la década de los años 50. Estas intoxicaciones fueron causadas por la descarga industrial de metilmercurio y otros compuestos mercuriales en la Bahía de Minamata y en el río Agano, seguida por la acumulación de mercurio en peces comestibles.

### **2.7.4 Exposición humana al mercurio**

La principal vía de exposición humana al mercurio es la ingesta de agua y alimentos, principalmente pescados y mariscos que contiene una cantidad sustancial de mercurio. En agua, las concentraciones totales de mercurio son mínimas, normalmente concentraciones inferiores a 1 µg/L. En aguas contaminadas podemos encontrar concentraciones mayores, dependiendo en este caso su concentración del origen de la contaminación. En alimentos encontramos los mayores niveles de mercurio, en su forma más tóxica (metil-mercurio), en los peces de mayor tamaño y edad, que se alimentan de otros peces más pequeños, mariscos y organismos

acuáticos. Asimismo, debido a que el metil-mercurio no es lipofílico, no se acumula en peces grasos. El metil-mercurio constituye aproximadamente un 75% del mercurio total de los pescados de agua marina y cerca de un 90% de los de agua dulce. Es la especie más peligrosa debido a su alta estabilidad, solubilidad en lípidos, y sus propiedades iónicas que llevan a una alta capacidad de penetrar las membranas celulares. EFSA. (2005). EC–European Commission. (2004). La toxicología del mercurio es diferente, según su especie química, y si la intoxicación es aguda o crónica. El mercurio orgánico es el más tóxico. (Raimann, X., Rodriguez, L., Chavez, P., & Torrejon, C. 2014), (Molina Villalba, I. 2015).

### **2.7.5 Intoxicaciones agudas**

El Hg metal presenta un cuadro clínico de debilidad, escalofríos, sabor metálico, náuseas, vómitos, diarrea, tos y opresión torácica (sensación de aumento de presión en el tórax acompañada de disnea). Basta una exposición breve al vapor de Hg para producir los síntomas en pocas horas.

El  $\text{Hg}^{2+}$  precipita proteínas de las mucosas y da un aspecto ceniciento a la boca, faringe e intestino, con dolor intenso y vómitos por el efecto corrosivo sobre la mucosa del estómago, que produce shock y muerte. La recuperación se produce sólo con un tratamiento rápido.

Los derivados orgánicos no suelen producir intoxicaciones agudas, y cuando éstas tienen lugar son irreversibles y producen la muerte del individuo.

### **2.7.6 Intoxicaciones crónicas**

El Hg metal produce efectos neurológicos y el llamado síndrome vegetativo asténico, cuyos efectos son: bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida de memoria y salivación intensa. Estos efectos son reversibles.

El  $\text{Hg}^{2+}$  presenta un cuadro clínico de fuerte sabor metálico, estomatitis, gingivitis, aflojamiento de dientes, aliento fétido, así como una toxicidad renal grave por necrosis tubular renal. Típica de los efectos tóxicos de este catión y de los

calomelanos es la llamada enfermedad rosa o acrodimia, que es una reacción de hipersensibilidad con eritema en extremidades tórax y cara, fotofobia, taquicardia y diarrea. Estos cuadros clínicos presentan una buena recuperación.

Los derivados orgánicos producen una reducción del campo visual irreversible, dificultad auditiva, asimismo irreversible, ataxia, parálisis y muerte. Los efectos dependen de la dosis, produciéndose los dos primeros a bajas concentraciones y los últimos a altas concentraciones del tóxico. Además son teratógenos y afectan al feto, con retardo mental y deficiencias neuromusculares. (Molina Villalba, I. 2015)

### **2.7.7 Valores límites biológicos**

Pocos países y organismos internacionales han adoptado índices biológicos para evaluar el grado de exposición a mercurio

Los valores límites biológicos hacen comúnmente referencia a la concentración de mercurio en orina y en sangre, por ser éstos los parámetros biológicos más utilizados para el control de trabajadores expuestos. Se admite una buena correlación entre mercurio en orina y mercurio ambiental aunque algunos autores indican que es mejor la existente entre mercurio en aire y mercurio en sangre. El mercurio también puede cuantificarse en otros medios biológicos (pelo, saliva, uñas, etc.), presentando interés en estudios epidemiológicos retrospectivos los valores de mercurio en pelo. (Naciones Unidas, 2011), (Molina Villalba, I. 2015)

## **2.8 ARSÉNICO (As)**

### **2.8.1 Fuentes del arsénico**

El arsénico (As) es un metaloide presente en el ambiente de forma natural, por lo que siempre se va a encontrar en pequeñas concentraciones en el suelo, aire y agua. Se ha estimado que alrededor de un tercio del flujo atmosférico de As es de origen natural. La actividad volcánica es la fuente natural más importante, seguida de la volatilización a bajas temperaturas. Los niveles normales son aproximadamente de 5.000 µg/Kg en el suelo, 0,02- 0,10 µg/m<sup>3</sup> en la atmosfera y 2 µg/L en el agua. El As elemental es

insoluble en agua y la solubilidad de las sales arsenicales varía en función del pH y de las condiciones iónicas. El metabolismo y la toxicidad de las especies de As son diferentes; así, las formas inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas, siendo el compuesto arsenical más tóxico el anhídrido arsenioso, comúnmente llamado arsénico. (Molina Villalba, I. 2015)

### **2.8.2 Usos del arsénico**

Se utiliza en:

- Fabricación de vidrios, esmaltes, pinturas, manipulación de aleaciones de metales, fundiciones y otras industrias.
- Como germicida y conservador en viñedos y cultivos de algodón, cereales, papas, soya, tabaco, etc. como pesticida en baños de animales, conservación de maderas.
- Como rodenticida y en exterminio para distintos animales dañinos y gérmenes.
- Uno de los usos más importantes pero en decadencia actualmente fue en la medicina humana y veterinaria.
- Otro uso menos recomendable pero ampliamente utilizado, ha sido como veneno y en la segunda Guerra Mundial se emplearon compuestos dorados de arsénico orgánico como arma química (gas mostaza).
- Por último destacar que los compuestos orgánicos de arsénico se utilizaron como medicamentos en el tratamiento de la sífilis aunque este uso quedó relegado por la aparición de la penicilina y otros antibióticos. (Montalva Redon, M. 2016), (Molina Villalba, I. 2015).

### **2.8.3 Propiedades químicas del arsénico y sus especies**

El As es un metaloide estable en cuatro estados de oxidación (+5, +3, 0 y -3) que pueden coexistir en sistemas acuáticos con una variedad de formas orgánicas e inorgánicas. La forma dominante en los sistemas de agua dulce y marina es el arseniato.

La acción de reductores fuertes sobre algunos compuestos de arsénico, tanto en grado de oxidación III como en V, lo transforma en la arsina. La arsina ( $\text{AsH}_3$ ) es un gas que licúa a  $-55^\circ\text{C}$  y solidifica a  $-190^\circ\text{C}$  de hecho se descompone en arsénico pardo e hidrógeno cuando se calienta a temperaturas superiores a  $230^\circ\text{C}$  en ausencia de aire. (benjumea Flórez, C. 2015)

Las formas solubles de arsénico descritas, excepto la arsenobetaina y la arsenocolina, son capaces de formar hidruros covalentes volátiles, hecho de gran importancia ya que permite la determinación de las mismas por formación del hidruro correspondiente.

Las especies de  $\text{As}(+3)$  se consideran en general más tóxicas, más solubles y más móviles que  $\text{As}(+5)$ . (Molina Villalba, I. 2015)

#### **2.8.4 Distribución y metabolismo de arsénico en el ser humano**

La principal fuente de intoxicación de arsénico en el hombre es a través de los alimentos si bien no se acumula a niveles tóxicos. Solamente, después de un consumo excesivo de pescado, mejillones, langosta y otros alimentos marinos se aumenta la cantidad ingerida, pero ni siquiera este hecho, constituye peligro de intoxicación.

El arsénico tiene una afinidad grande por los grupos hidroxilo y tioles lo que explicaría su interacción con ciertas enzimas y proteínas. De hecho se sabe que este elemento presenta especial afinidad por la queratina, proteína rica en azufre que compone los tejidos córneos del cuerpo como las uñas, cabellos y parte superficial de la piel, por lo que es en estas zonas donde se acumula de forma preferente.

Se sabe que algunas formas de arsénico, presentes en la dieta, se absorben muy fácilmente en el tracto intestinal. Dado que el selenio presenta esta misma vía de penetración en el organismo, se establece una competencia entre estos dos elementos y la presencia de selenio desplaza la absorción de arsénico, por lo que el primero tiene la propiedad de reducir la toxicidad del segundo y viceversa, resultando que el exceso corporal de uno de los elementos reduce la concentración del otro. (Colin Torres, 2013)

Los compuestos arsenicales se absorben fácilmente después de la ingestión, la mayor parte se excreta rápidamente en la orina durante los primeros días, o como mucho a la

semana; la toxicidad de los compuestos de As es por el siguiente orden, de mayor a menor toxicidad: arsinas> arsenitos inorgánicos> compuestos trivalentes orgánicos (arsenóxidos)> arseniatos inorgánicos> compuestos pentavalentes orgánicos>compuestos arsonio>As elemental; la solubilidad en agua y los fluidos corporales parece estar directamente relacionada con la toxicidad (la baja toxicidad del As elemental se atribuye a su virtual insolubilidad en agua y fluidos corporales, mientras que el As(+3) altamente tóxico, por ejemplo, es soluble en agua a 12 g/L a 0°C, 21 g/L a 25°C, y 56 g/L a 75°C; y los mecanismos de toxicidad del As difieren considerablemente entre sus especies, aunque los signos de intoxicación parecen ser similares para todos los arsenicales.

La excreción es principalmente a través de la orina en forma metilada; la metilación de los ácidos metilarsónico ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>AsO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>) y dimetilarsínico ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>AsO<sub>2</sub>H) suelen ser el principal mecanismo de desintoxicación para As(+5) y As(+3) inorgánicos en mamíferos. La metilación del As (a diferencia de la metilación del Hg) reduce en gran medida la toxicidad este se produce mayormente en el hígado.

(Moreno Beneventi, 2013)

### **2.8.5 Mecanismos de toxicidad**

La toxicidad primaria de As(+3) es a través de la reacción con los grupos sulfhídricos de las proteínas y la posterior inhibición de la enzima, por ejemplo, la reducción de NAD (dinucleótido de nicotinamida y adenina) mediante la desactivación de enzimas críticas en el ciclo del ácido tricarboxílico (Figura) y en ocasiones provoca cambios morfológicos en las mitocondrias hepáticas. (Ramírez Mestanza, A. 2017)

Efectos de As(+3) sobre el sistema de enzimas sulfhídrico. Se muestra la inhibición de la piruvato oxidasa por la formación del arsenito quelado previniendo la reoxidación del grupo dihidrolipol necesario para continuar la actividad enzimática. La oxidación del succinato es interrumpida de manera idéntica como lo son muchas otras enzimas. (Montalva Redon, M. 2016)

En cambio, el As(+5) inorgánico no reacciona tan fácilmente con los –SH, pero puede intervenir en la fosforilación oxidativa reemplazando al fosfato, por ejemplo, en los enlaces de alta energía del ATP (Adenosina trifosfato); además, el As(+5) se reduce a As(+3) en el riñón y así puede contribuir en el incremento de la forma As(+3). Por lo anterior, el As se distribuye en hígado, riñón, piel y escamas (debido al alto contenido de –SH de la queratina), branquias y músculo, donde el As inorgánico se biotransforma en As orgánico liposoluble e hidrosoluble. (Montalva Redon, M. 2016)

### **2.8.6 Intoxicación aguda**

Después de 12 horas de ingerida una dosis de arsénico, se presenta cuadro gastrointestinal caracterizado por vómitos en proyectil (expulsados con fuerza) y severa diarrea de olor alíaceo y apariencia de agua de arroz.

Se presenta la muerte entre el 1º y el 14 día, por la deshidratación, el desequilibrio electrolítico y una gradual caída de la tensión arterial. Como secuelas de la intoxicación aguda, se presentan neuropatías periféricas y encefalopatías. (Marín Villuendas, 2014)

## **2.9 ABSORCIÓN ATÓMICA**

La Espectrofotometría de Absorción Atómica se basa en la absorción de radiación electromagnética por las partículas atómicas. Para ello, es necesario atomizar la muestra, es decir, convertir las moléculas constituyentes de la muestra en partículas gaseosas elementales. El espectro de absorción de un elemento atomizado está constituido por una cantidad limitada de líneas discretas a longitudes de onda características para cada elemento.

En la espectroscopia atómica, las muestras se vaporizan a temperaturas muy altas y la concentración de los átomos del elemento de interés se determina midiendo la absorción a sus longitudes de onda características. (Corrales, D. 2013)



### 2.9.1 Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica

- **Lámpara:** es una fuente de radiación que emite una línea específica correspondiente al elemento en estudio para efectuar una transición en los átomos del elemento analizado.
- **Nebulizador:** por aspiración de la muestra líquida, forma pequeñas gotas para una atomización más eficiente.
- **Quemador:** a través de la temperatura que alcanza en la combustión y por la reacción de combustión misma, se favorece la formación de átomos a partir de los componentes en solución.
- **Sistema óptico (Monocromador):** se encarga de separar la radiación de longitud de onda de interés, de todas las demás radiaciones que entran a dicho sistema.
- **Detector o transductor:** transforma, en relación proporcional, las señales de intensidad de radiación electromagnética, en señales eléctricas o de intensidad de corriente.
- **Amplificador o Sistema Electrónico:** se encarga de amplificar la señal eléctrica producida, para que en el siguiente paso pueda ser procesada con circuitos y sistemas electrónicos comunes.

Sistema de lectura: la señal de intensidad de corriente es convertida a una señal que el operario pueda interpretar (ejemplo: absorbancia). (Obando Camalle, B. 2015)

El espectrofotómetro de absorción atómica de llama, es a la fecha la técnica más ampliamente utilizada para determinar elementos metálicos y metaloides. Esta técnica tienen grandes convenientes y es de costo relativamente bajo, pudiéndose aplicar tal técnica a una gran variedad de muestras.

Acoplado un instrumento de absorción atómica a un horno de grafito o a un generador de hidruros se alcanzan límites de detección hasta de ppb, lo cual lo hace indispensable en áreas como estudios de contaminación ambiental, análisis de alimentos, análisis de aguas potables y residuales, diagnóstico clínico, entre otros.

### **2.9.2 Fundamento de la Absorción Atómica**

La muestra a analizar debe ser previamente tratada para asegurar que todos los iones a determinar se encuentren libres en solución, en el caso de muestras acuosas este no es el problema pero en el caso de alimentos u otras matrices sólidas debe realizarse un tratamiento previo de mineralización.

La solución a analizar se hace pasar, por medio de aspiración en forma de niebla gracias al sistema de nebulizador. Los iones y átomos son excitados por la energía recibida en la llama y al ser atravesados por el haz de luz proveniente de la lámpara absorben parte de la energía necesaria para volver a su estado electrónico fundamental. Un monocromador compuesto por una red de difracción selecciona la longitud de onda específica del elemento.

La diferencia entre la cantidad de energía proveniente de la lámpara que llega al detector inicialmente y mientras la muestra lo atraviesa es una medida cuantificable al alcanzar el amplificador y registrador del equipo.

La señal se traduce en unidades de concentración del analito mediante una lectura previa de una curva de calibración del analito deseado e interpolando los valores obtenidos. (Barraza, M., Recabarren, M., & Sanzano, P. 2018)

## **CAPITULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación**

Según las características del estudio se trata de un diseño experimental observacional, analítico, transversal y se utilizará el método cuantitativo para determinar la concentración de arsénico, mercurio y plomo en las muestras de “trucha”, agua y pienso. Se recolectarán las muestras y se procesará la información hallada para obtener un resultado. El diseño observacional se encuentra dentro del estudio de prevalencia por ser un estudio vertical de corte transversal y analítico a la vez.

### **3.2 Población y unidad de análisis**

El objeto de estudio de esta investigación son las concentraciones de metales pesados presente en “truchas”, piensos y el agua que serán obtenidas de las piscigranjas ubicadas en la jurisdicción del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima - Perú.

### **3.3 Tamaño de muestra**

Estará conformada de 36 muestras provenientes tanto de la “trucha”, del agua de la piscigranja, y de los piensos para truchas que serán recolectadas de las piscigranjas ubicadas en el distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima.

### **3.4 Técnicas de la recolección de datos**

Se tomarán las muestras utilizando el tipo de muestreo aleatorio simple, es decir seleccionados al azar para que cada uno tenga la misma posibilidad de ser elegido.

Para ello se procederá de la siguiente manera:

### **3.4.1. Recolección de la muestra:**

Las “truchas”, el agua y el pienso serán recolectadas de las piscigranjas aledañas del pueblo de Churín, ubicada a 2080 metros sobre nivel del mar, capital del distrito de Pachangara, pertenece a la Provincia de Oyón y a la Región Lima - Perú. (INEI. XI Censo de Población y VI de Vivienda. Perú 2007).

### **3.4.2. Conservación y almacenamiento**

#### **Cadena de Frio de las Muestras:**

Para la conservación de las muestras éstas se tomarán en buenas condiciones, se procederá a colocar en contenedores de tecnopor cuya temperatura deberá oscilar entre los  $-4^{\circ}\text{C}$  con hielo seco y protegidos de la luz. El análisis debe ser lo más rápido posible con relación a la toma de muestras por lo que no deben pasar más de 24 horas desde la toma de muestra hasta la llegada a laboratorio.

Llevado a las instalaciones del laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para los análisis correspondientes.

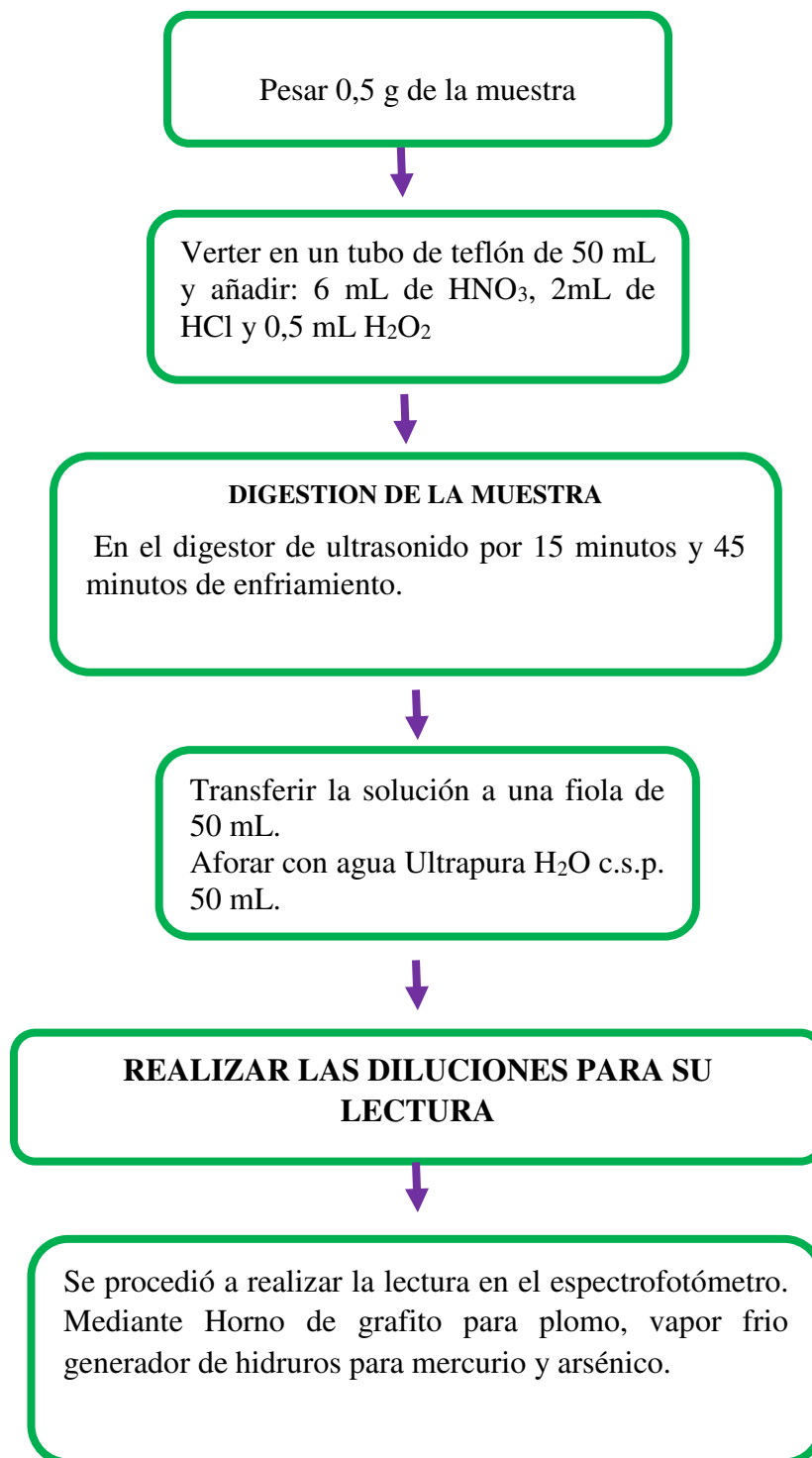
### **3.4.3 Tratamiento de la muestra**

- Limpieza y acondicionamiento de material.
- Todo el material de vidrio utilizado en este análisis después de su lavado fue enjuagado con ácido nítrico y con agua ultra pura.
- Posteriormente pesar 5.0 gramos de la muestra.

### **Destrucción de la materia orgánica por el método de digestión asistida por microondas.**

- La primera etapa consiste en la digestión de la muestra y colocar en balón de digestión, adicionar 5.0 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 33% ultra puro concentrado y luego 5.0 mL de ácido sulfúrico concentrado para iniciar la reacción.
- Al disminuir la reacción, calentar en el aparato digestor a una temperatura de 60° C. por 30 minutos.
- Remover el balón del calor y dejar enfriar, luego adicionar 10.0 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado y retornar el balón al aparato digestor con una temperatura de 120°C.
- Incrementar la temperatura a 150°C. por 6 horas aproximadamente y remover el balón cuando la muestra se torne oscura.
- Dejar enfriar y adicionar 1.0 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30%, produciendo una reacción fuerte. Continuar la adición de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% hasta que la solución se torne clara.
- Transferir el contenido del balón a un balón volumétrico de 50.0 mL y llevar a volumen con agua desionizada.
- Posteriormente cuantificar el contenido de mercurio utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica de vapor frío.

## FLUJOGRAMA DEL TRATAMIENTO DE LA MUESTRA PARA ARSÉNICO, MERCURIO Y PLOMO



### 3.5 Análisis e interpretación de la información

Para la interpretación de los resultados serán analizados mediante el paquete estadístico SPSS versión 15.0 y Microsoft Office 2013.

### 3.6 Parámetros de lectura para arsénico

PARAMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de sistema	Horno
Elemento	Arsénico
Matriz	
Corriente de lámpara	75 %
Longitud de Onda	193.7 nm.
Rendija	0.2nm
Modo de instrumento	Encender absorbancia.

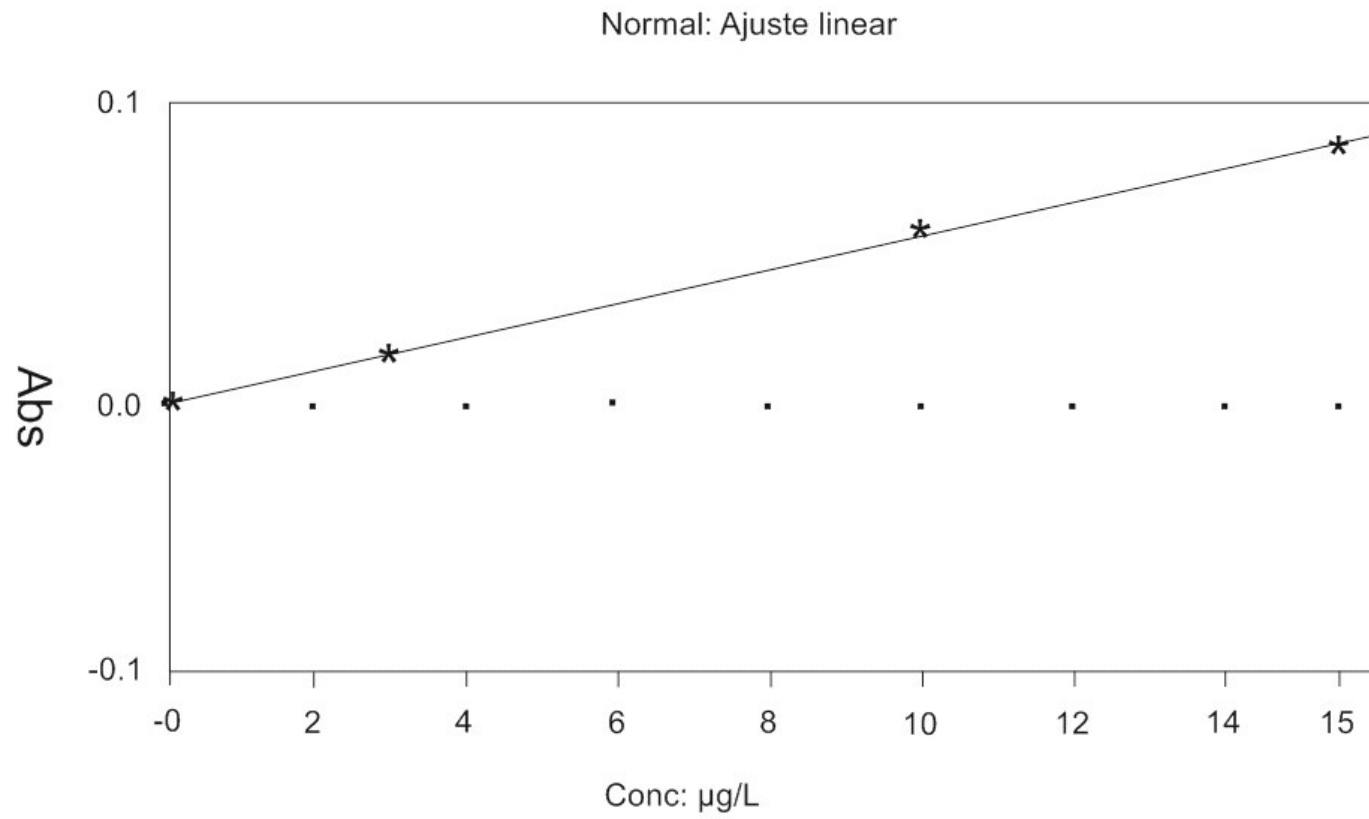
PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de calibración	Ajuste lineal
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de concentración	µg/L
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	NO
Medir muestra en blanco después de Cal.	NO
Autoguardar método después de Cal.	NO

<b>PARAMETROS DE MEDICIÓN DE LA MUESTRA</b>	
Modo de medición	Área máxima
Introducción de muestras	Manual
Constante de tiempo	0,00
réplicas	2

### **CALIBRACIÓN COMPLETA**

Muestra etiquetada	Conc. de arsénico	Media absorbancia
Calibración blanco	0.00 µg/mL	0.0000
Estándar 1	5 µg/L	0.0260
Estándar 2	10 µg/L	0.0553
Estándar 3	15 µg/L	0.0749



**FIGURA 7: PARÁMETROS DE CALIBRACION DE ARSÉNICO**

### 3.8 PARÁMETROS DE LECTURA PARA MERCURIO

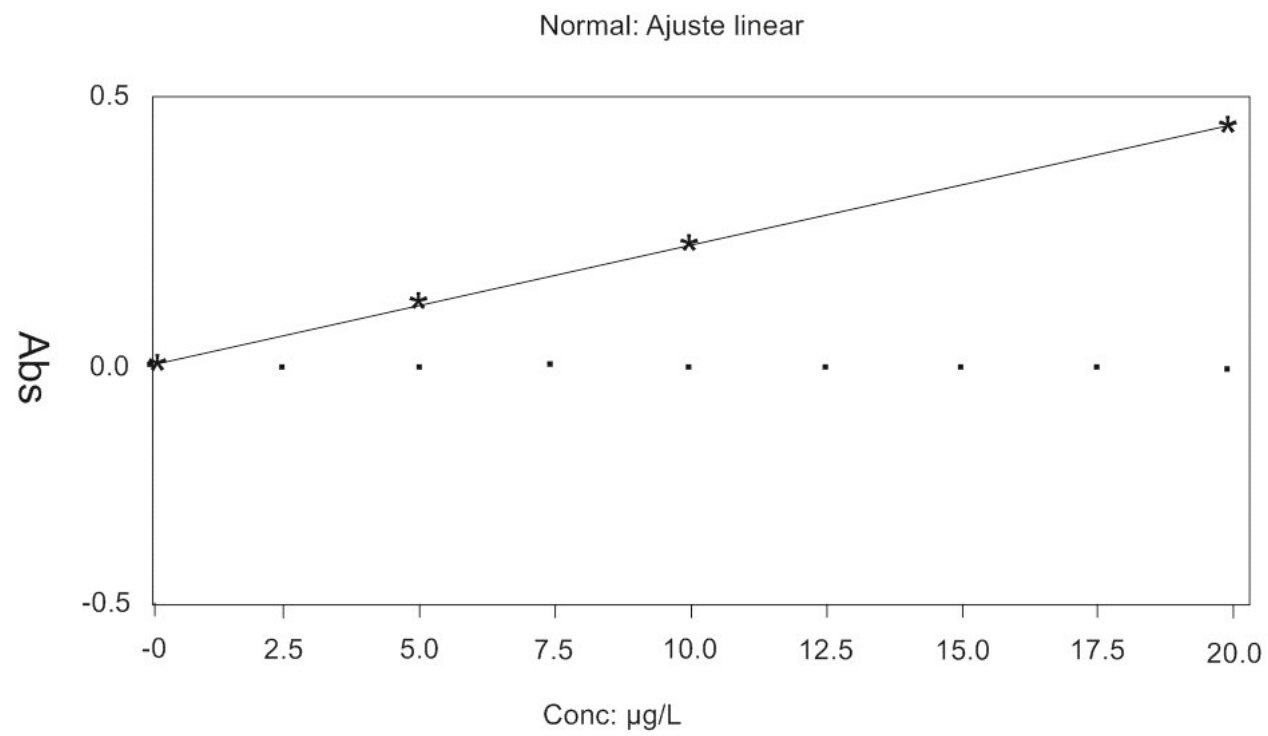
PARAMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de sistema	Horno
Elemento	Mercurio
Matriz	
Corriente de Lámpara	75 %
Longitud de Onda	253.7nm.
Rendija	0.2nm
Modo de instrumento	Encender absorbancia.

PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de calibración	Ajuste linear
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de concentración	µg/L
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	NO
Medir muestra en blanco después de Cal.	NO
Autoguardar método después de Cal.	NO

PARAMETROS DE MEDICIÓN DE LA MUESTRA	
Modo de medición	Área máxima
Introducción de muestras	Manual
Constante de tiempo	0,00
replicas	2

### CALIBRACIÓN COMPLETA

Muestra etiquetada	Conc. de Mercurio	Media absorbancia
Calibración blanco	0.00 µg/mL	0.0000
Estándar 1	5 µg/L	0.0910
Estándar 2	10 µg/L	0.1861
Estándar 3	20µg/L	0.3765

**FIGURA 8: PARAMETROS DE MERCURIO**

### 3.9 PARÁMETROS DE LECTURA PARA PLOMO

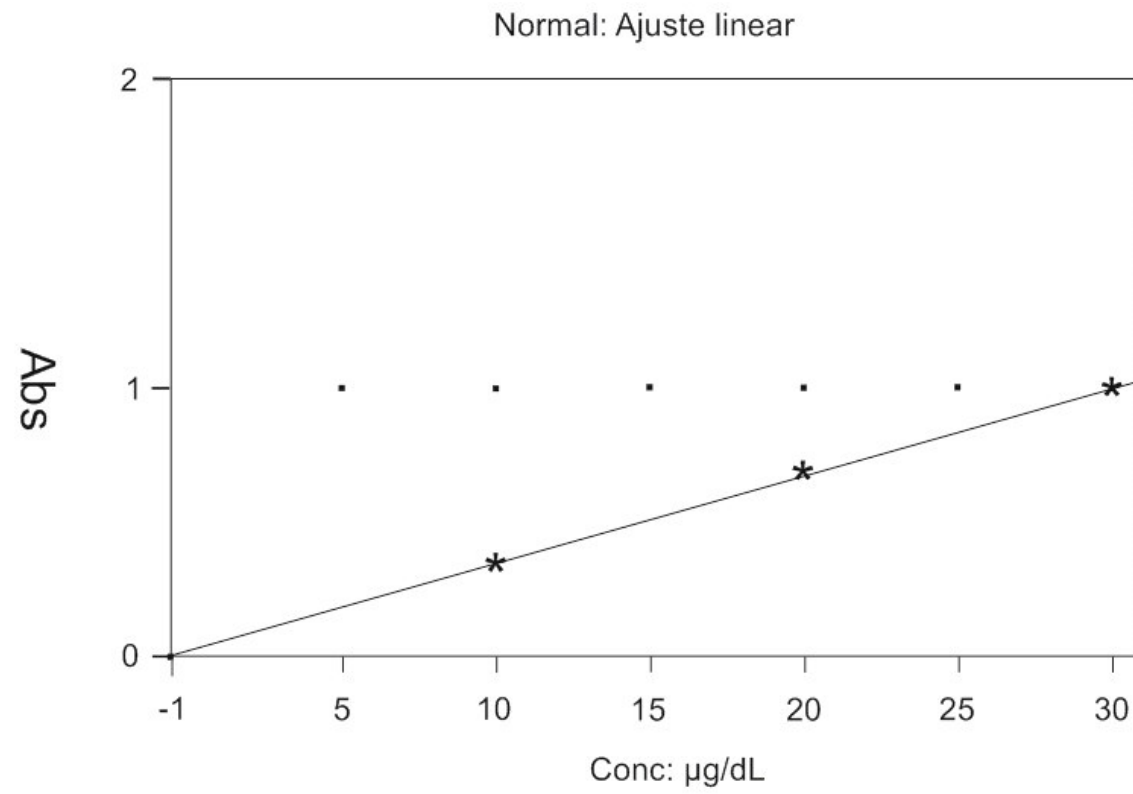
PARÁMETROS DE INSTRUMENTO	
Tipo de sistema	Horno
Elemento	Plomo
Matriz	Nitrato de amonio
Corriente de Lámpara	90 %
Longitud de Onda	217.0nm.
Rendija	1.0nm.
Modo de instrumento	Encender absorbancia.

PARAMETROS DE CALIBRACIÓN	
Modo de calibración	Ajuste linear
Muestra fuera de rango de acción	No
Unidades de concentración	ppm
Punto decimal de concentración	2
Falla de calibración	NO
Medir muestra en blanco después de Cal.	NO
Autoguardar método después de Cal.	NO

<b>PARAMETROS DE MEDICIÓN DE LA MUESTRA</b>	
Modo de medición	Área máxima
Introducción de muestras	Manual
Constante de tiempo	0,00
replicas	2

### **CALIBRACIÓN COMPLETA**

Muestra etiquetada	Conc. De Plomo	Media absorbancia
Calibración blanco	0.00 $\mu\text{g/dL}$	0.000
Estándar 1	10 $\mu\text{g/dL}$	0.3826
Estándar 2	20 $\mu\text{g/dL}$	0.7743
Estándar 3	30 $\mu\text{g/dL}$	1.0172

**FIGURA 9: PARAMETROS DE PLOMO**

## **CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados**

Los resultados obtenidos de la concentración de arsénico, mercurio, y plomo en “truchas” fueron comparados con los valores de los límites máximos permisibles de los metales en estudio tanto para pescado, agua y pienso según el Codex *Alimentarius* y Norma Técnica Peruana además se comparó con el reglamento de la Comunidad Europea y SANIPES.



## 4.2. RESULTADOS

**TABLA 1: DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ARSENICO, EN “TRUCHAS” (*Oncorhynchus mykiss*), PIENSOS Y AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

Nº Muestra	Muestras codificadas	Tipo de muestra	Concentración de los Metales
1	As-P01-AG	Agua	2,100 ppb
2	AsP02-AG	Agua	5,720 ppb
3	AsP03-AG	Agua	7,480 ppb
4	AsP04-AG	Agua	6,010 ppb
5	AsP01-TRU	“Trucha”	1,140 ppb
6	AsP02-TRU	“Trucha”	0,510 ppb
7	AsP03-TRU	“Trucha”	0.710 ppb
8	AsP04-TRU	“Trucha”	0,870 ppb
9	AsP01-PI	Pienso	17.000 ppb
10	AsP02-PI	Pienso	18.030 ppb
11	AsP03-PI	Pienso	15.010 ppb
12	AsP04-PI	Pienso	17.012 ppb

**Interpretación:** Podemos observar las concentraciones de arsénico en las diferentes muestras; donde en la muestra de agua la concentración más alta corresponde al pozo número 3 con una concentración de 7,480 ppb; en la muestra “trucha” la concentración mayor corresponde al pozo número 1 con 1,140 ppb y en pienso, la concentración mayor está en el pozo número 2 con 18.030 ppb.

**TABLA2: DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE MERCURIO EN “TRUCHAS” (*Oncorhynchus mykiss*), PIENSOS Y AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

Nro., Muestra	Muestras codificadas	Tipo de muestra	Concentración de los Metales
1	HgP01-AG	Agua	1,510 ppb
2	HgP02-AG	Agua	0,720 ppb
3	HgP03-AG	Agua	0,480 ppb
4	HgP04-AG	Agua	0,401 ppb
5	HgP01-TRU	“Trucha”	0,600 ppb
6	HgP02-TRU	“Trucha”	0,210 ppb
7	HgP03-TRU	“Trucha”	0,110 ppb
8	HgP04-TRU	“Trucha”	0,100 ppb
9	HgP01-PI	Pienso	0,020 ppb
10	HgP02-PI	Pienso	0,030 ppb
11	HgP03-PI	Pienso	0,010 ppb
12	HgP04-PI	Pienso	0,010 ppb

**Interpretación:** Podemos observar las concentraciones de mercurio en las diferentes muestras; donde la muestra de agua la concentración más alta corresponde al pozo número 1 con una concentración de 1,510 ppb; en la muestra “trucha” la concentración mayor corresponde al pozo número 1 con 0,600 ppb y en pienso, la concentración mayor está en el pozo número 2 con 0,030 ppb.

**TABLA 3: DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE PLOMO EN “TRUCHAS” (*Oncorhynchus mykiss*), PIENSOS Y AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

Nº Muestra	Muestras codificadas	Tipo de muestra	Concentración de los Metales
1	PbP01-AG	Agua	0,040 ppm
2	PbP02-AG	Agua	0,095 ppm
3	PbP03-AG	Agua	0,180 ppm
4	PbP04-AG	Agua	0,110 ppm
5	PbP01-TRU	“Trucha”	1,140 ppm
6	PbP02-TRU	“Trucha”	0,510 ppm
7	PbP03-TRU	“Trucha”	0,712 ppm
8	PbP04-TRU	“Trucha”	0,870 ppm
9	PbP01-PI	Pienso	2,001 ppm
10	PbP02-PI	Pienso	2,030 ppm
11	PbP03-PI	Pienso	2,010 ppm
12	PbP04-PI	Pienso	1,910 ppm

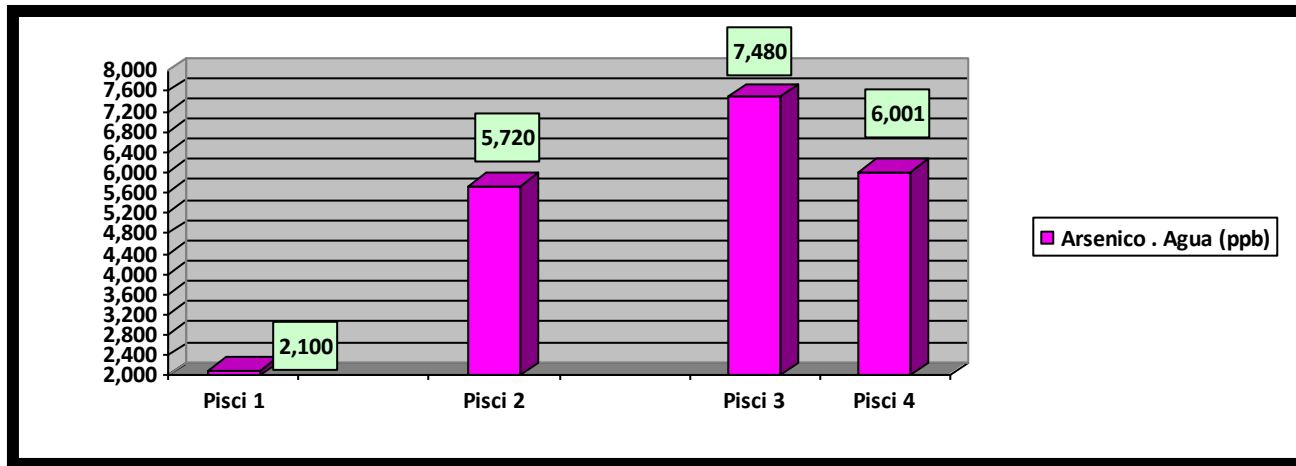
**Interpretación:** Podemos observar las concentraciones de plomo en las diferentes muestras; donde la muestra de agua la concentración más alta corresponde al pozo número 3 con una concentración de 0,180 ppm; en la muestra “trucha” la concentración mayor corresponde al pozo número 1 con 1,140 ppm y en pienso, la concentración mayor está en el pozo número 2 con 2,030 ppm.

**TABLA 4: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE ARSÉNICO EN “TRUCHAS” (*Oncorhynchus mykiss*), PIENSOS Y AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**

N° de Muestra	Código de muestra	Niveles de As (ppb) En agua	Niveles As (ppb) En trucha	Niveles As (ppb) En pienso
1	PISCI 1	2,100	1,140	17,000
2	PISCI 2	5,720	0,051	18,013
3	PISCI 3	7,480	0,071	15,010
4	PISCI 4	6,001	0,870	17,012

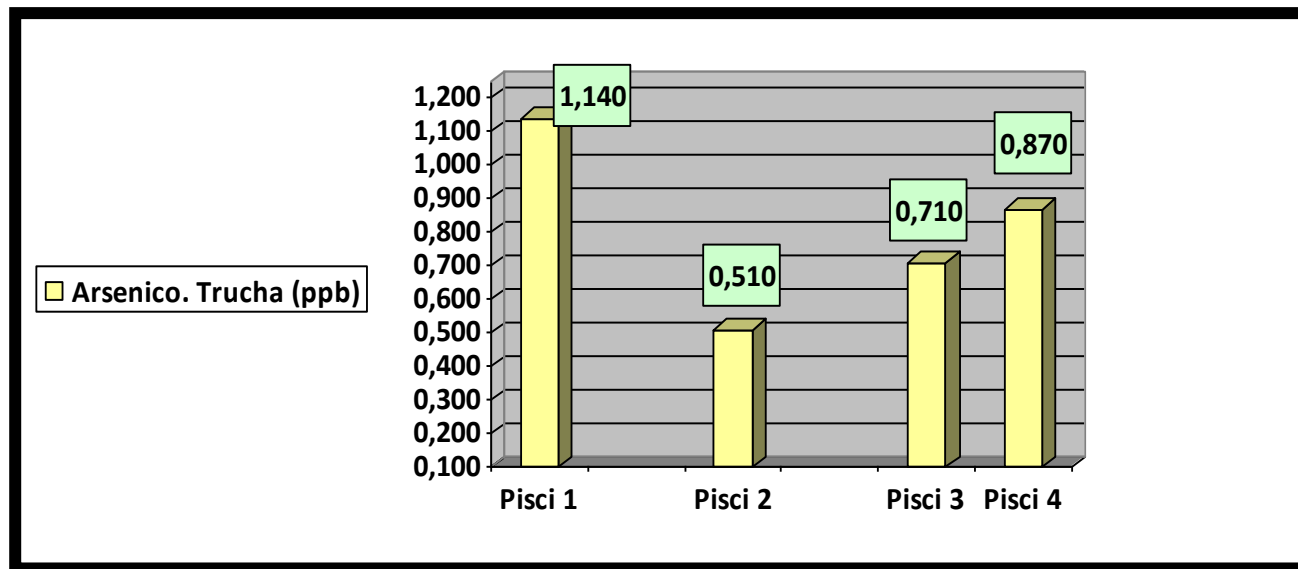
**Interpretación:** En el presente cuadro podemos observar las diferentes concentraciones de arsénico, donde en la muestra de agua la concentración es 7,480 ppb y no supera el límite máximo establecido en el Codex *alimentarius* que es de 50 ppb. En la muestra de “trucha” la concentración mayor es 1,140 ppb y no supera el límite máximo establecido en la Comunidad Europea que es de 300 ppb. En la muestra pienso la concentración máxima es de 18,013 ppb y no supera el límite máximo permisible de la Comunidad Europea que es de 300 ppb.

**FIGURA 1: COMPARACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE ARSÉNICO EN AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**



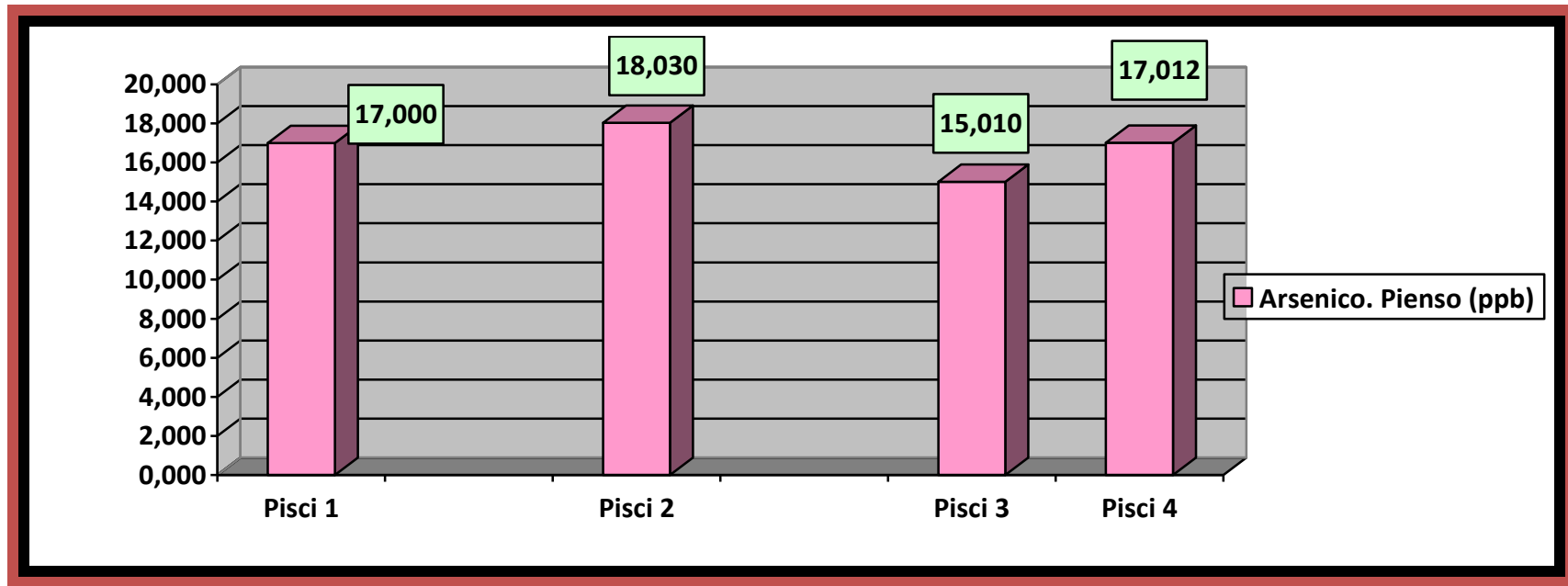
**Interpretación:** Se puede visualizar que en la piscigranja N° 3 la concentración es más elevada es de 7,480 ppb de arsénico.

**FIGURA 2: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE ARSÉNICO EN TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*), DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**Interpretación:** Se puede visualizar que en la piscigranja N° 1 se encuentra la mayor concentración con 1,140 ppb. de arsénico en muestra de “trucha”.

**FIGURA 3: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE ARSÉNICO EN PIENSOS DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**Interpretación:** En el presente gráfico se puede visualizar que la mayor concentración corresponde a la piscigranja N° 2 con una concentración de 18,030 ppb de arsénico en muestra de “pienso”.

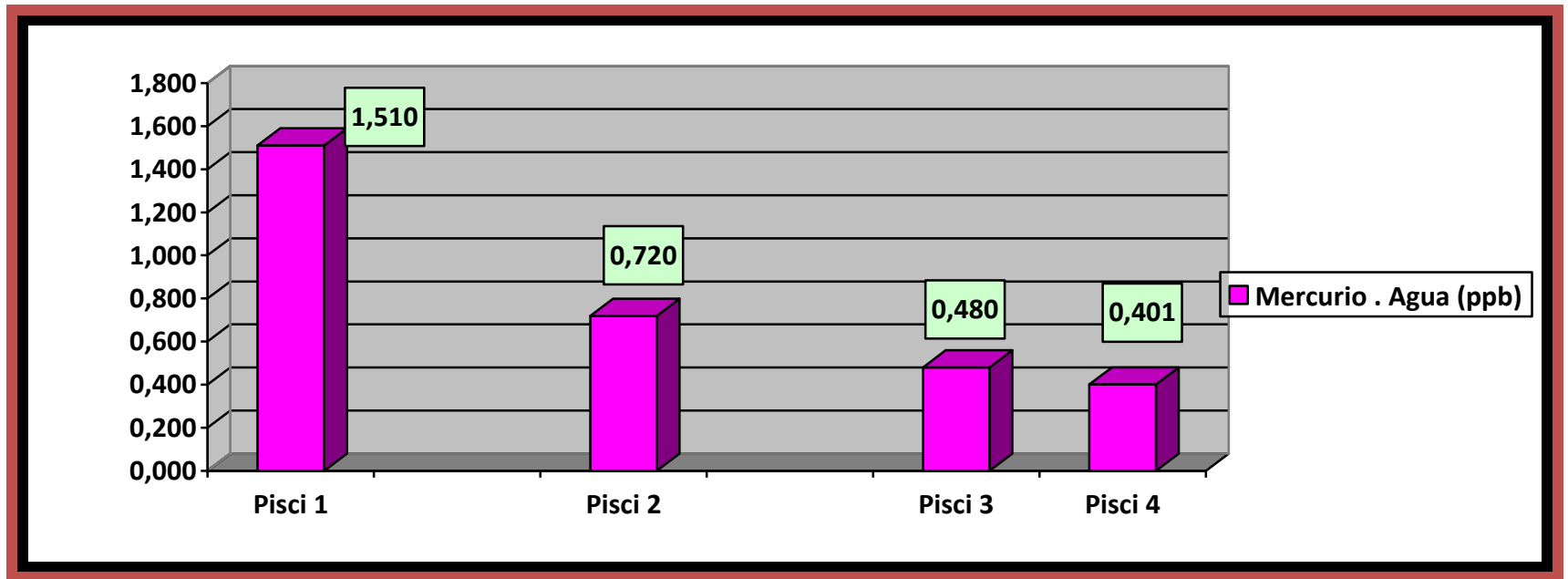
**TABLA 5: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE MERCURIO EN “TRUCHAS”, AGUA Y PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

N° Muestra	CÓDIGO DE MUESTRA	NIVELES Hg (ppb) En agua	NIVELES Hg (ppb) En trucha	NIVELES Hg (ppb) En Pienso
1	PISCI 1	1,510	0,600	0,020
2	PISCI 2	0,720	0,210	0,030
3	PISCI 3	0,480	0,110	0,010
4	PISCI 4	0,401	0,100	0,010

**Interpretación:** En el presente cuadro se ha encontrado que la concentración mayor de mercurio en agua corresponde a la piscigranja N° 1 con 1,510 ppb. y supera el límite máximo permisible establecido por el Codex *alimentarius* que es de 1,00 ppb. En la muestra de “trucha” se ha hallado una concentración de 0,600 ppb en la piscigranja N° 1 y no supera el límite máximo permisible establecido por el Códex *alimentarius* que es de 500 ppb. y en pienso corresponde a la piscigranja N° 2 con 0,030 ppb y no supera el límite máximo permisible establecido por el Códex *alimentarius* que es de 300 ppb.

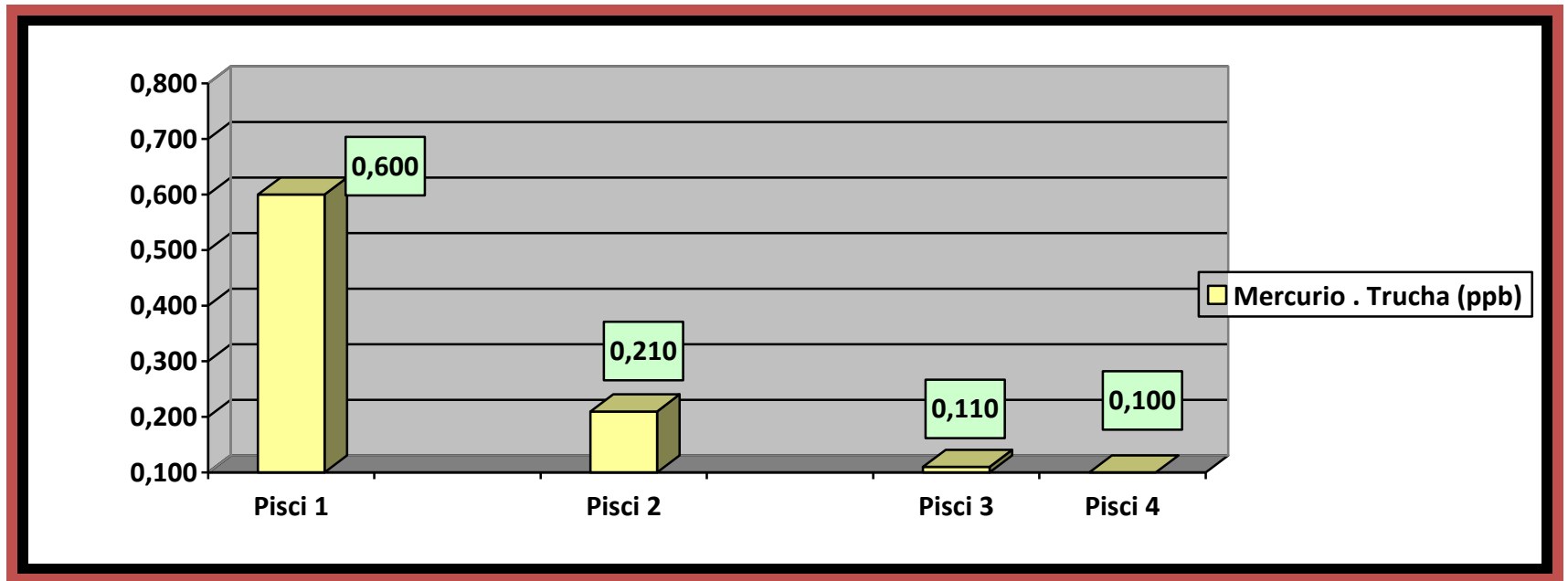


**FIGURA 4: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE MERCURIO EN MUESTRA DE AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



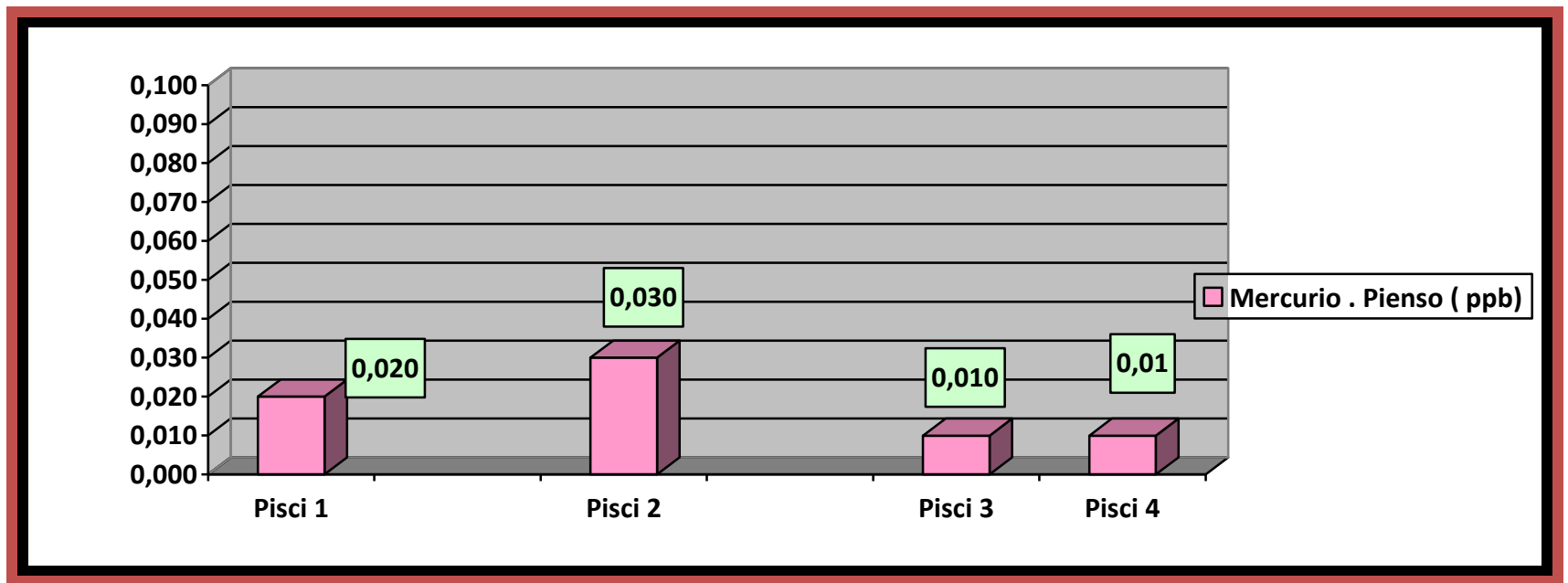
**Interpretación:** En el presente cuadro se puede visualizar que la concentración mayor de mercurio en agua corresponde a la piscigranja N° 1 con 1,510 ppb. de mercurio.

**FIGURA 5: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES ENCONTRADOS DE MERCURIO EN MUESTRA DE “TRUCHA” DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**Interpretación:** El valor máximo encontrado corresponde a la piscigranja N° 1 con una concentración de 0,600 ppb

**FIGURA 6: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN MUESTRA DE PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



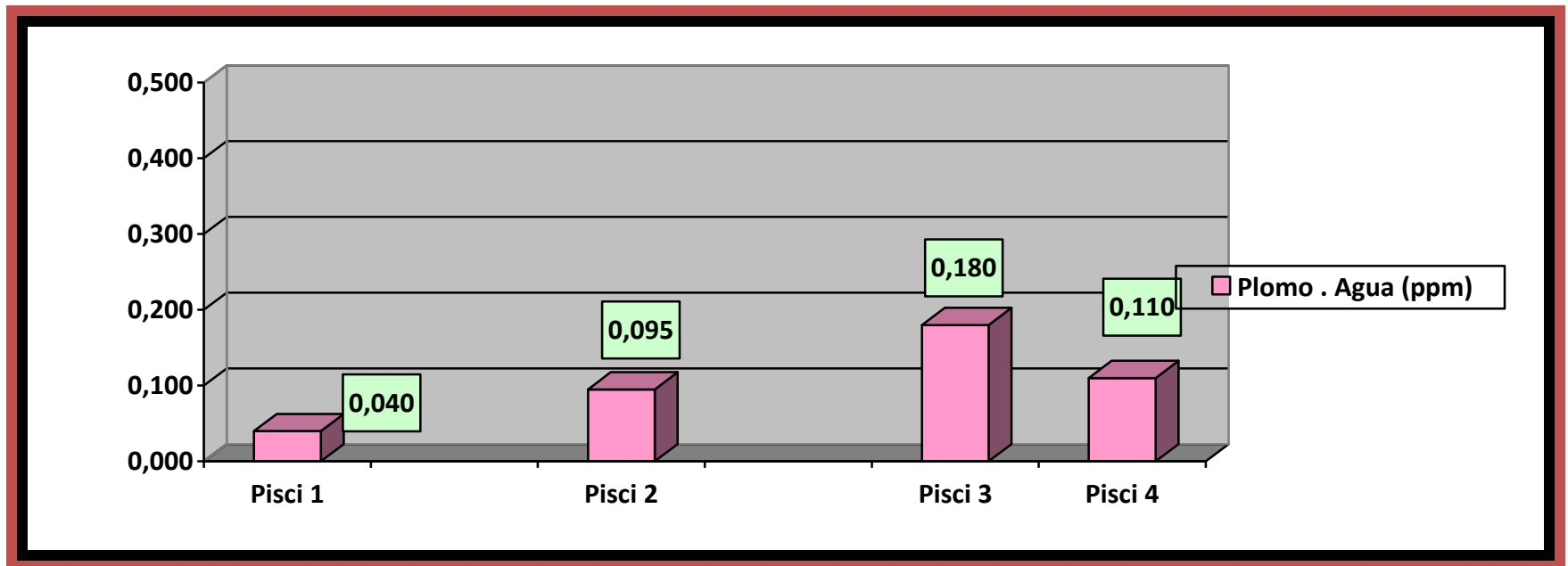
**Interpretación:** El valor máximo encontrado en la muestra de pienso corresponde a la piscigranja N° 2 con una concentración de 0,030 ppb.

**TABLA6: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN MUESTRA DE TRUCHA, AGUA Y PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**

<b>N° De Muestra</b>	<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	<b>NIVELES Pb en agua (ppm)</b>	<b>NIVELES Pb en trucha (ppm)</b>	<b>NIVELES Pb en pienso (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>PISCI 1</b>	<b>0,040</b>	<b>1,140</b>	<b>2,001</b>
<b>2</b>	<b>PISCI 2</b>	<b>0,095</b>	<b>0,510</b>	<b>2,030</b>
<b>3</b>	<b>PISCI 3</b>	<b>0,180</b>	<b>0,712</b>	<b>2,010</b>
<b>4</b>	<b>PISCI 4</b>	<b>,0.110</b>	<b>0,870</b>	<b>1,910</b>

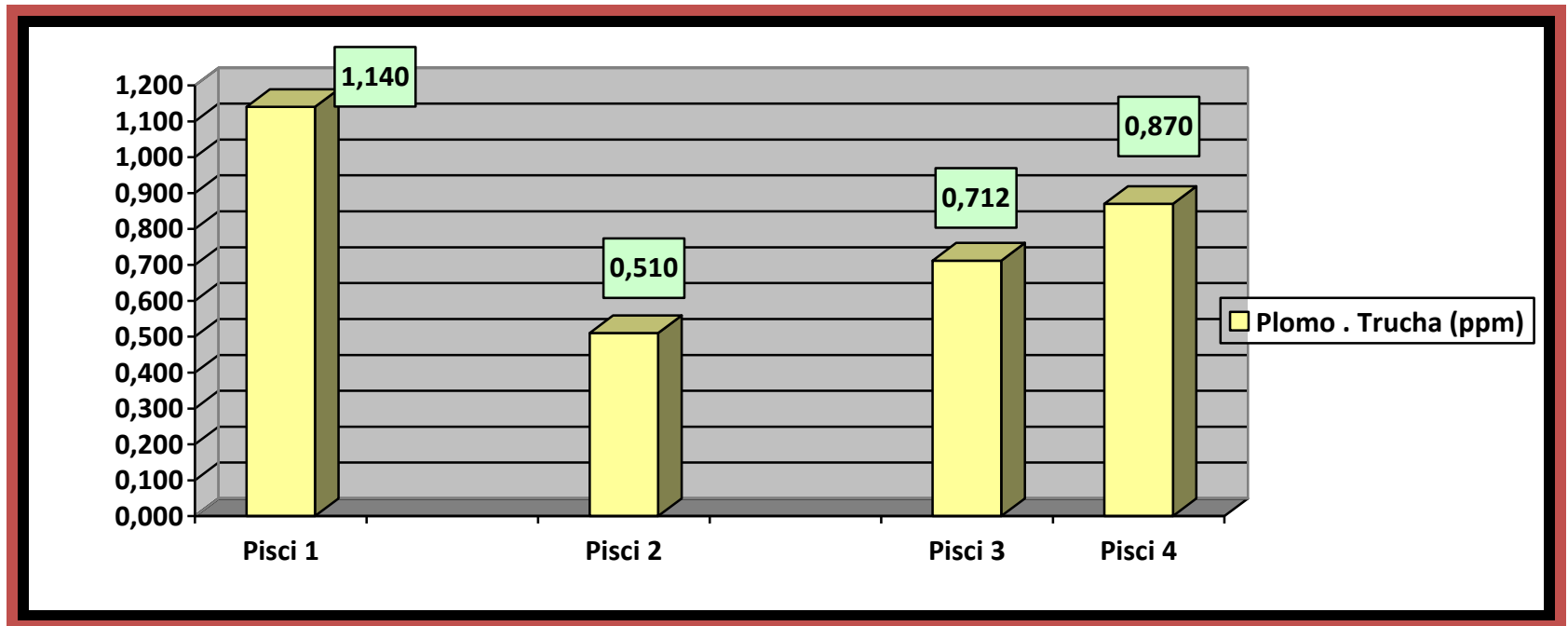
**Interpretación:** En el presente cuadro se puede observar que las concentraciones más elevadas encontradas en nuestras muestras corresponden a piensos, siendo el de mayor concentración con 2,030 ppm a la piscigranja número 2.

**FIGURA 7: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN MUESTRA DE AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



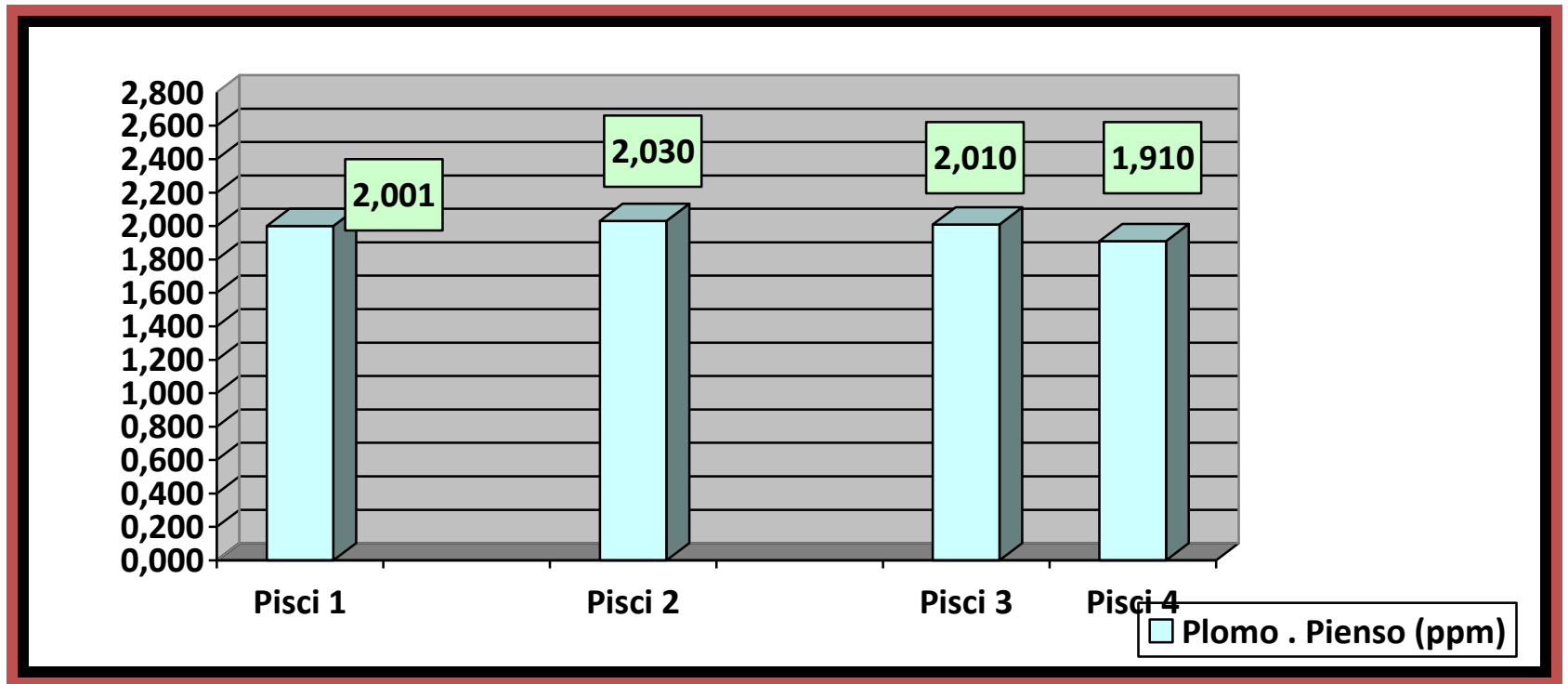
**Interpretación:** En el presente cuadro se puede observar que la concentración mayor en muestra de agua corresponde a la piscigranja N° 3 con 0,180 ppm.

**FIGURA 8: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN MUESTRA DE “TRUCHA” DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**Interpretación:** En el presente cuadro se puede visualizar que la piscigranja N° 1 tiene mayor concentración de plomo en la muestra de trucha con 1,140 ppm.

**FIGURA 9: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN MUESTRA DE PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**



Interpretación: en el presente cuadro se puede visualizar que la concentración mayor en una muestra de pienso se encuentra en la piscigranja N° 2 con 2,030 ppm.

**TABLA 7: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE ARSENICO, MERCURIO Y PLOMO EN MUESTRA DE TRUCHA, AGUA Y PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

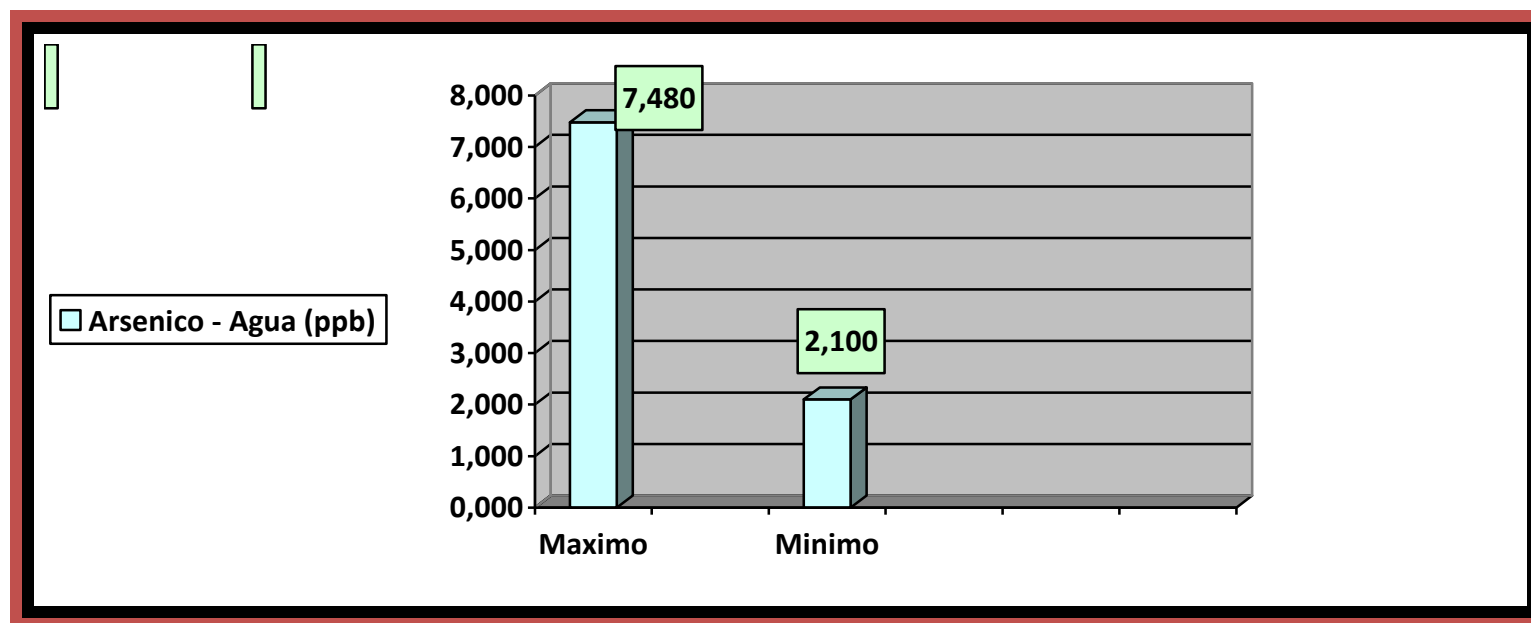
**CONCENTRACIONES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE METALES EN ESTUDIO**

ELEMENTO		AGUA		TRUCHA		PIENSO	
		MÁXIMO	MÍNIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
1	ARSENICO	7,480 ppb	2,100 ppb	1,140 ppb	0,510 ppb	18,030 ppb	15,10 ppb
2	MERCURIO	1,510 ppb	0,401 ppb	0,600 ppb	0,100 ppb	0,030 ppb	0,010 ppb
3	PLOMO	0,180 ppm	0,040 ppm	1,140 ppm	0,510 ppm	2,030 ppm	1,910 ppm

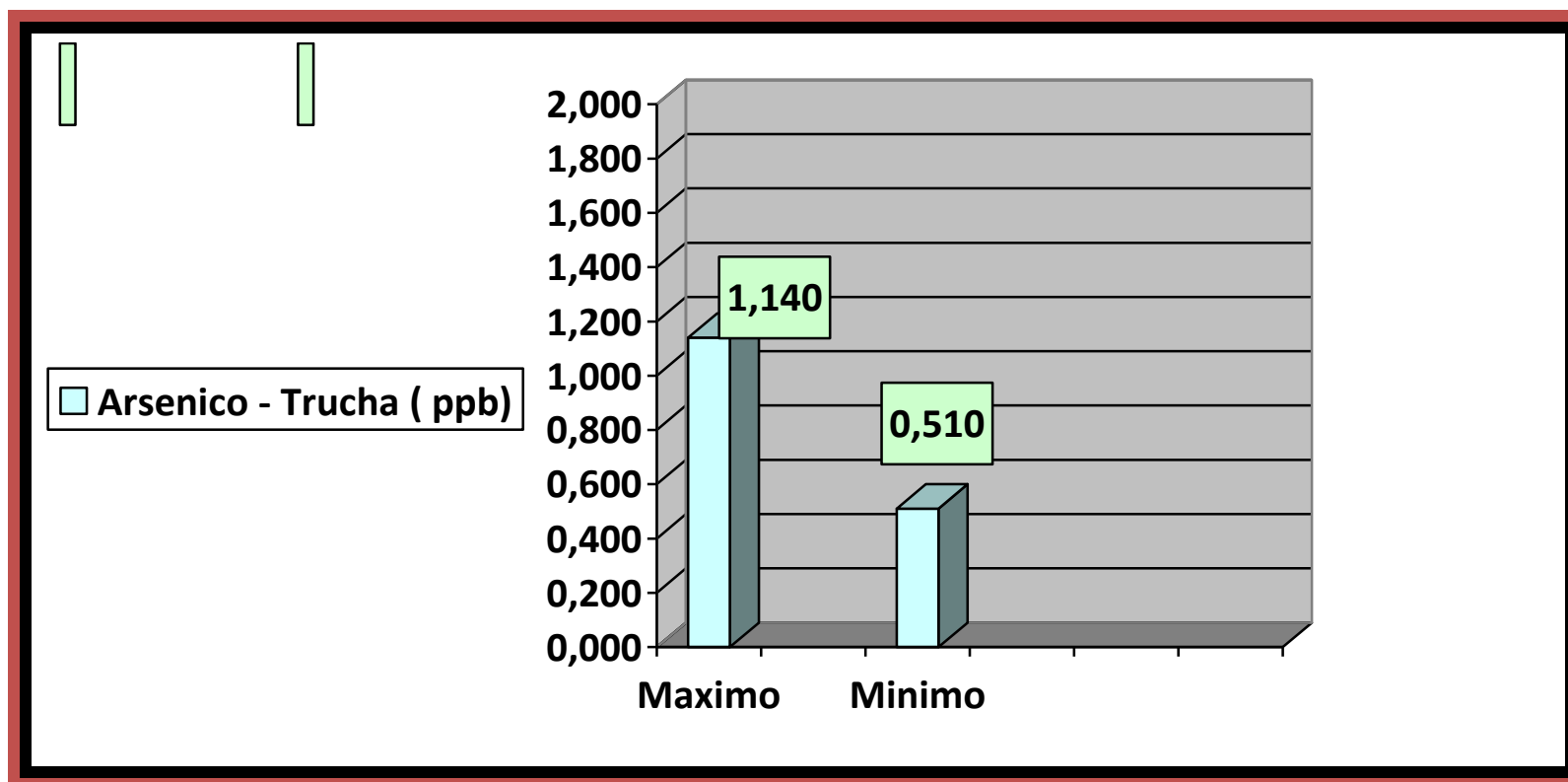
**Interpretación:** en el presente cuadro podemos observar los valores máximos y mínimos de los metales en estudio.



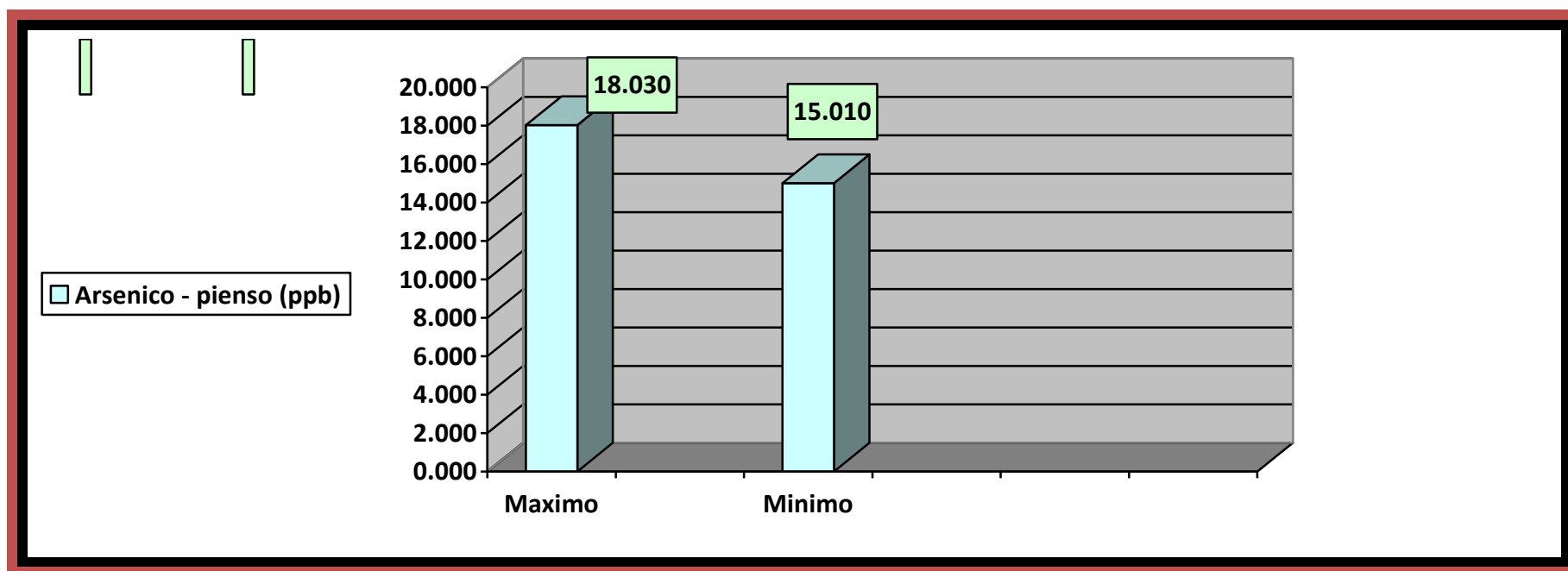
**FIGURA 10: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE ARSENICO EN AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**FIGURA 11: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE ARSENICO EN MUESTRA DE TRUCHA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

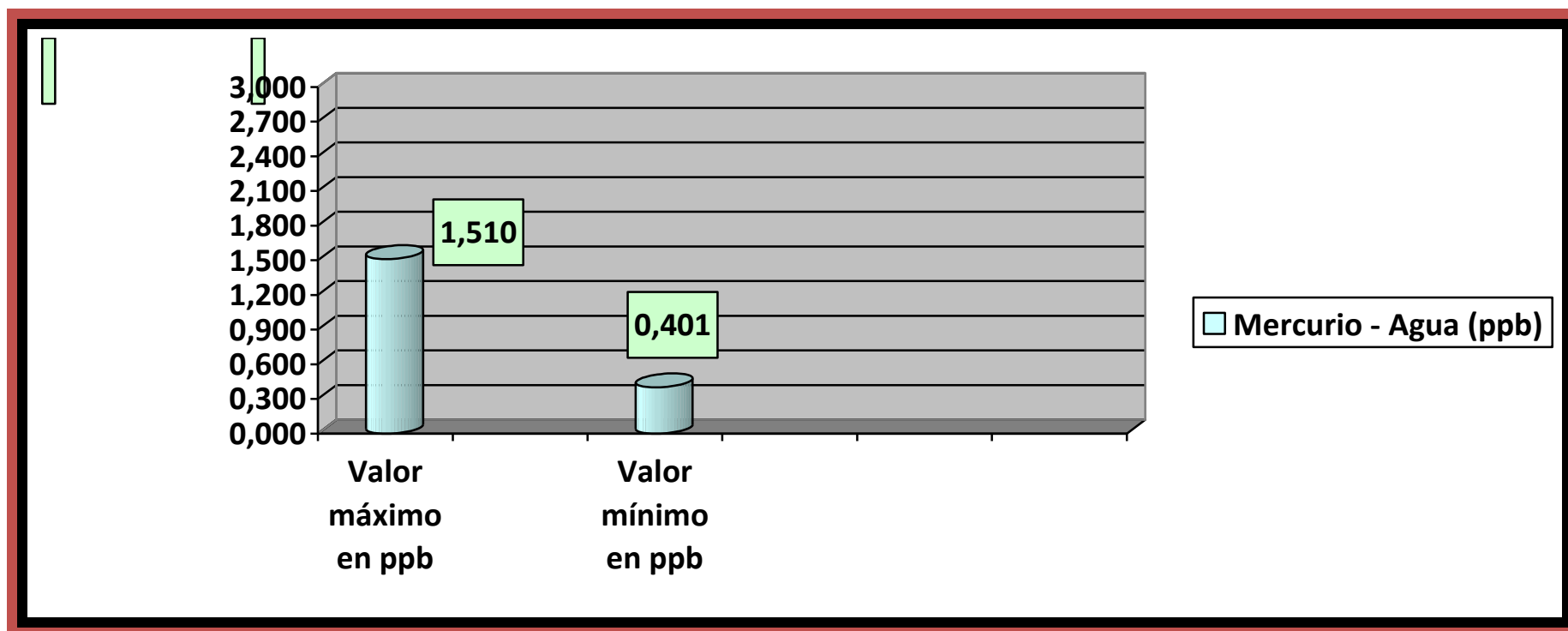


**FIGURA 12: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE ARSENICO EN PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

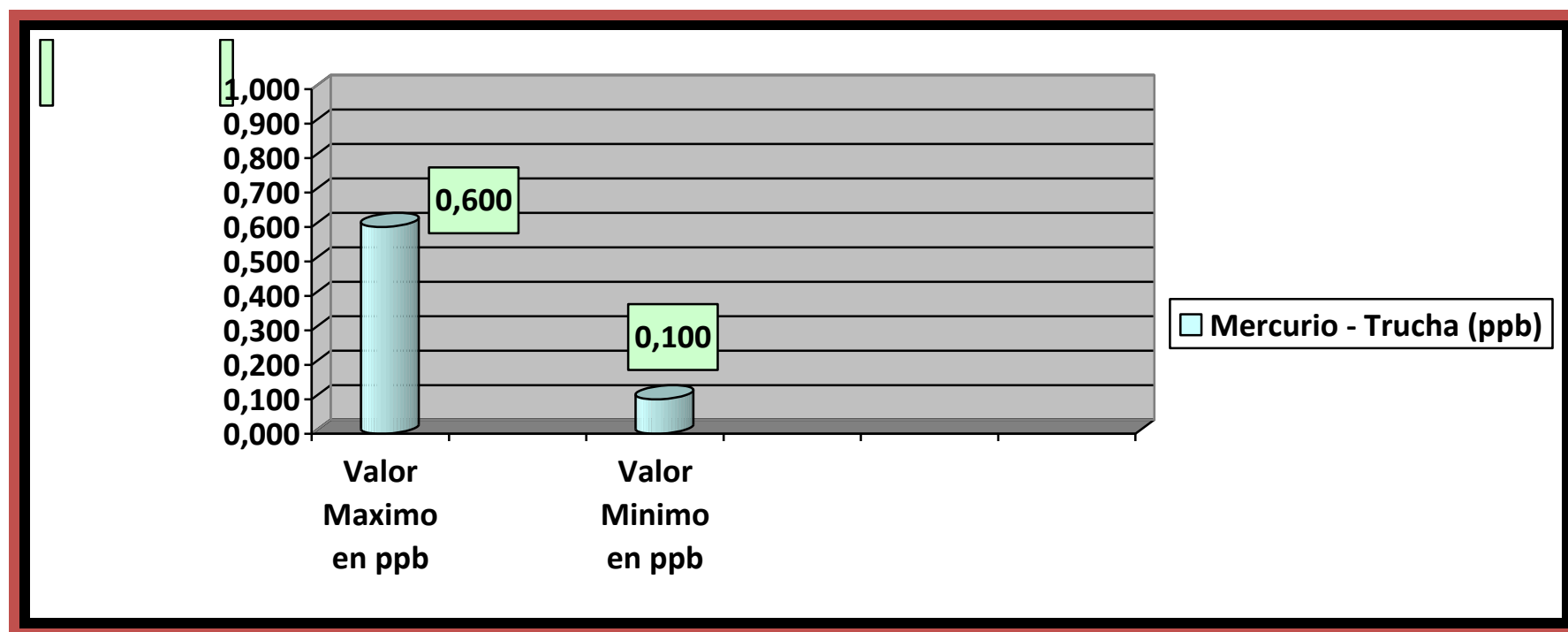


**Interpretación:** se puede visualizar las concentraciones máximas y mínimas de arsénico en muestra de pienso.

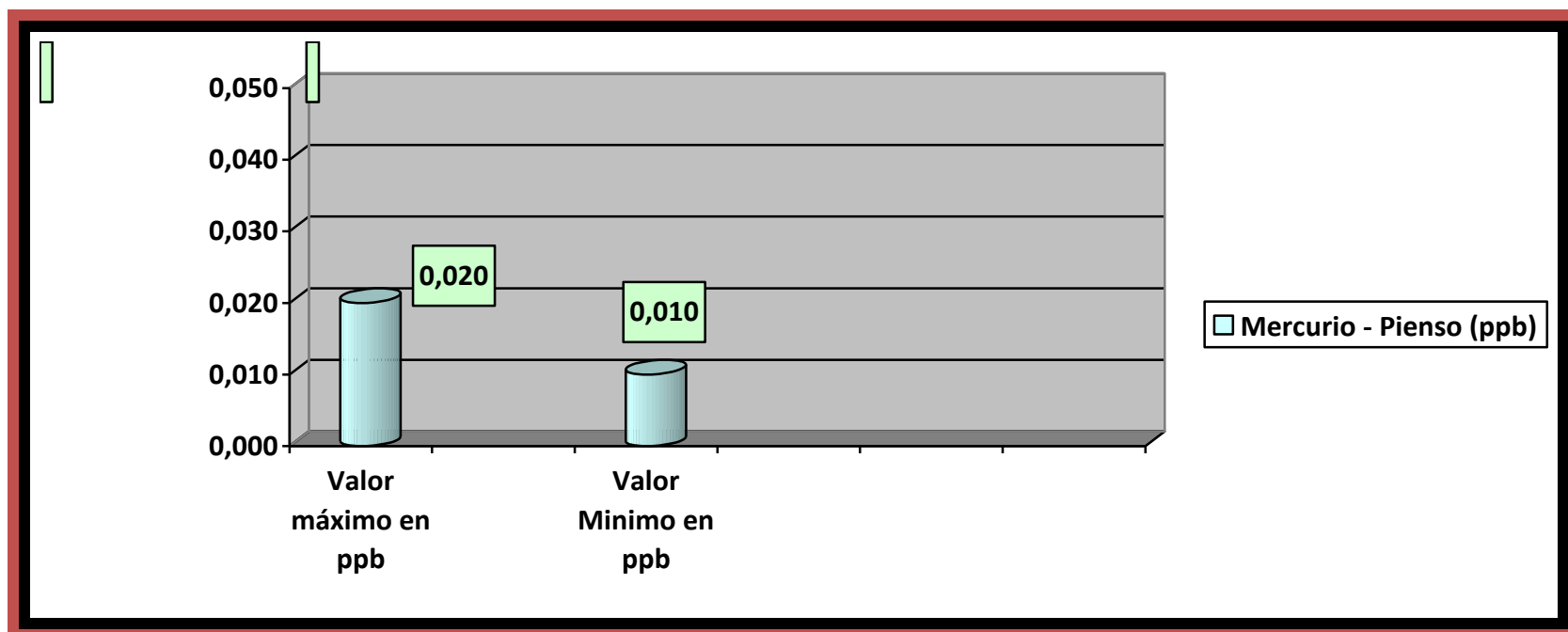
**FIGURA 13: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE MERCURIO EN MUESTRA DE AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**



**FIGURA 14: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE MERCURIO EN MUESTRA DE “TRUCHA” DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**

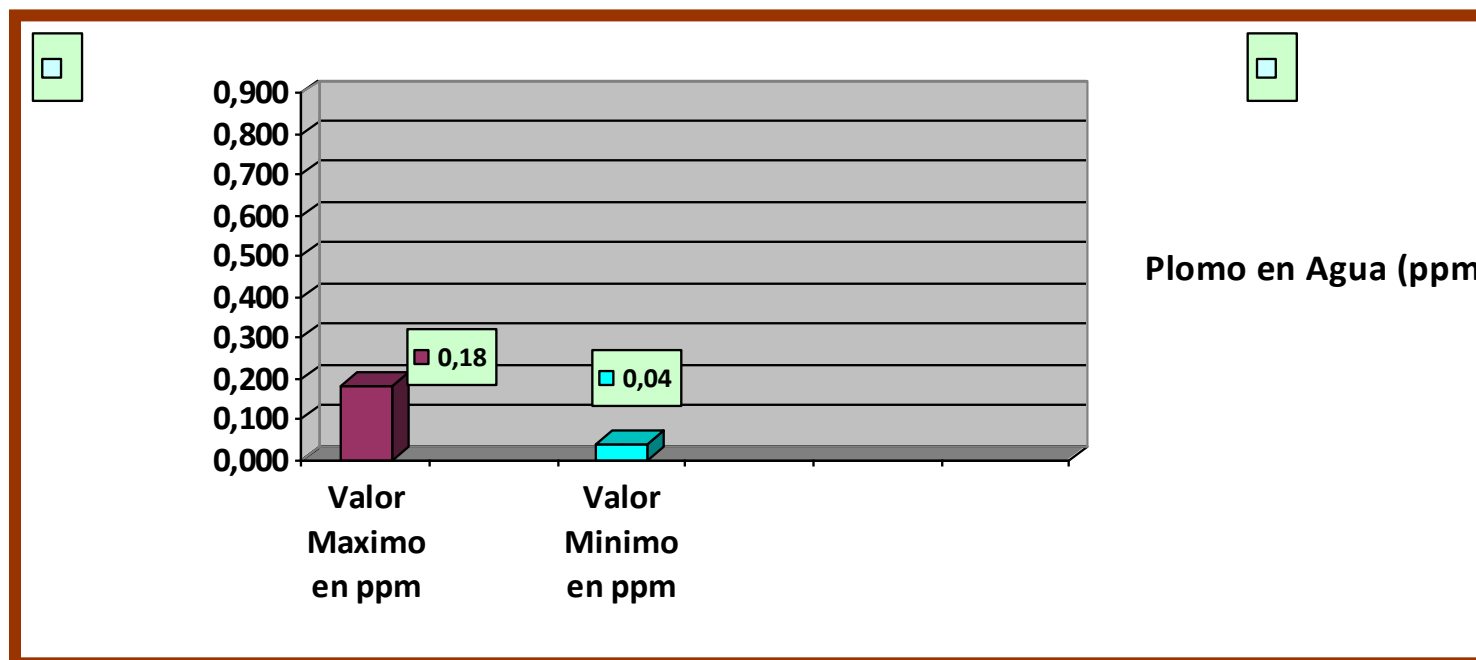


**FIGURA 15: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE MERCURIO EN MUESTRA DE PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

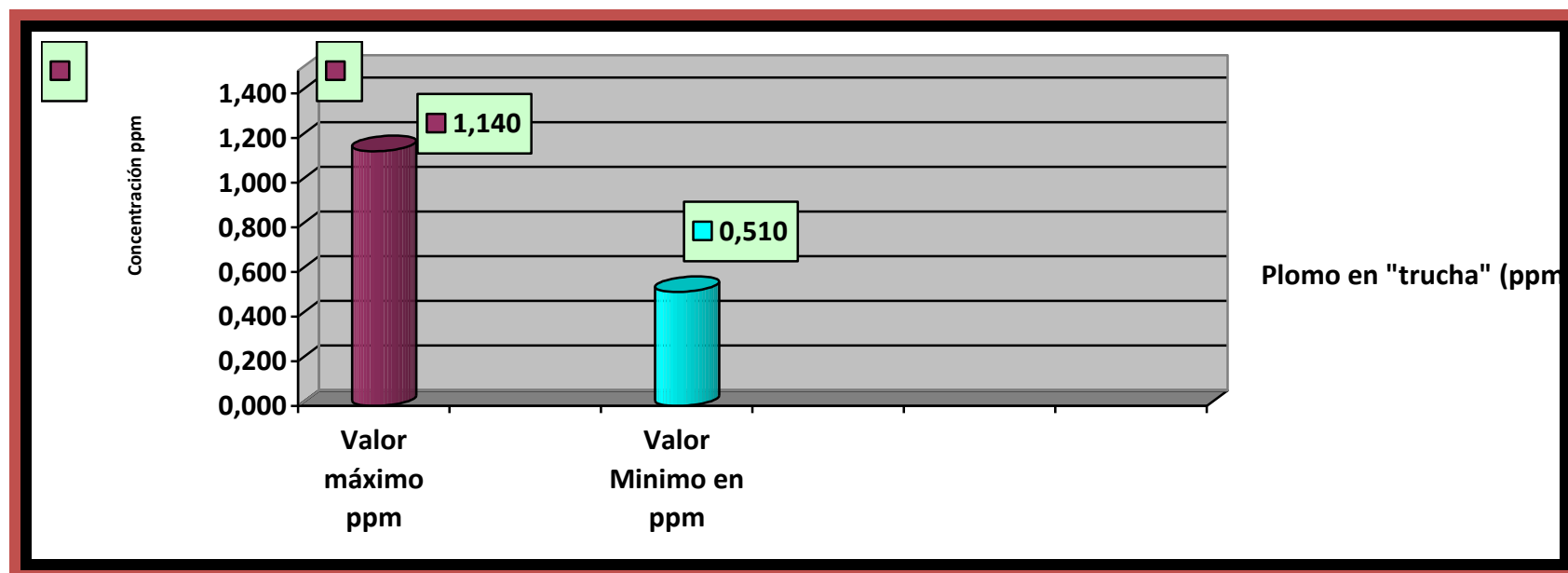


**Interpretación:** Se puede visualizar las concentraciones de mercurio en diferentes muestras

**FIGURA 16: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PLOMO EN MUESTRA DE AGUA DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

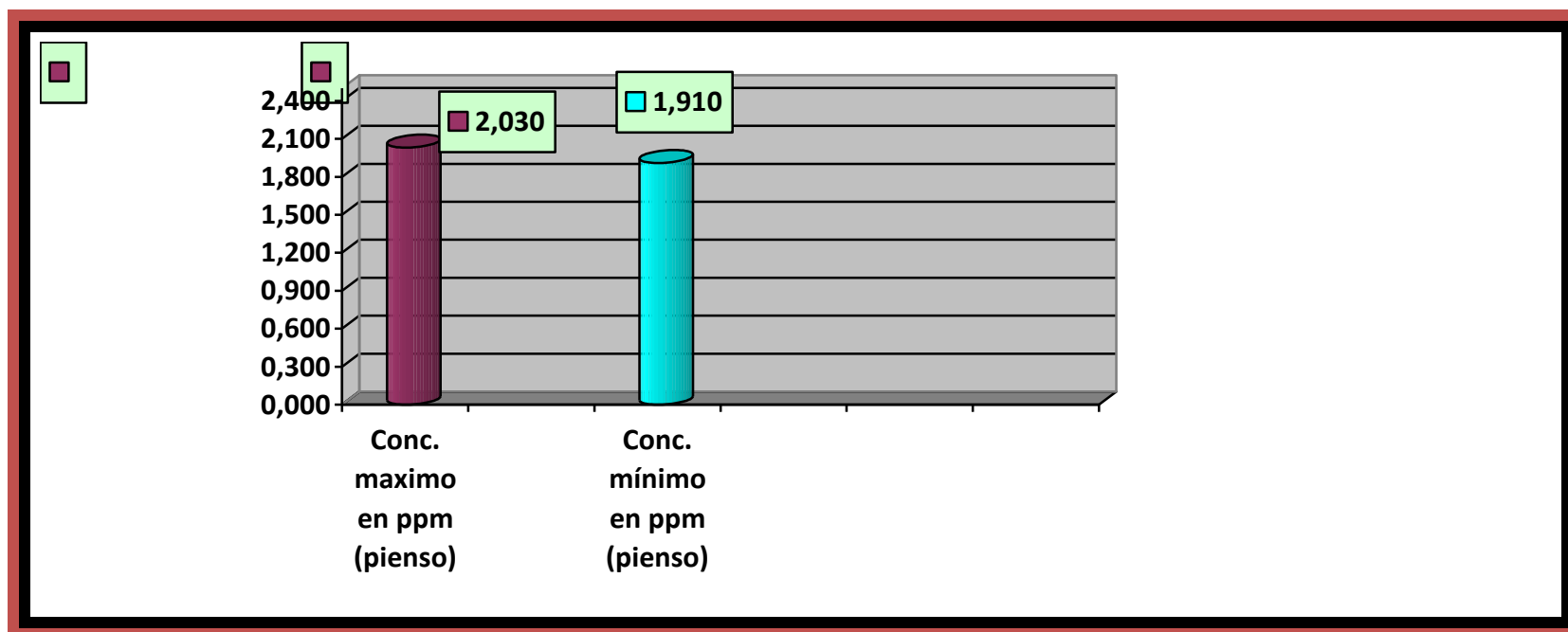


**FIGURA 17: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PLOMO EN MUESTRA DE “TRUCHA” DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**





**FIGURA 18: DETERMINACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE PLOMO EN MUESTRA DE PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**



**Interpretación:** Se puede visualizar las concentraciones de plomo en diferentes muestras.

**TABLA 8: COMPARACIÓN DE VALORES DE ARSENICO EN TRUCHAS VS LIMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TECNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex Alimentario</b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>1,140 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>No contempla</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 2</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,510 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>No contempla</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 3</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,712 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>No contempla</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 4</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,870 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>No contempla</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.

**TABLA 9: COMPARACIÓN DE VALORES DE ARSÉNICO EN AGUA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

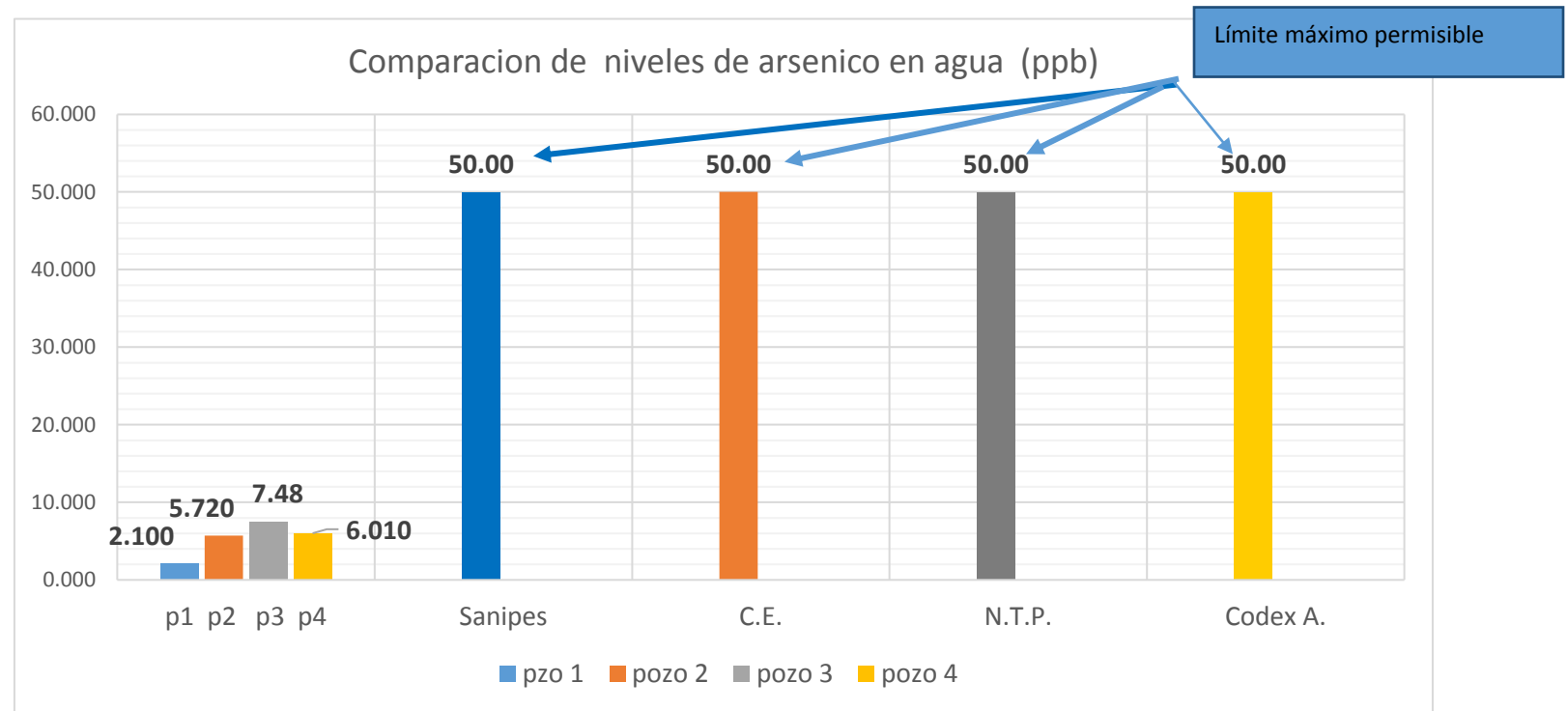
<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>AGUA</b>	<b>2,100 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	Deriva al Códex A.
<b>PISCI 2</b>	<b>AGUA</b>	<b>5,720 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	Deriva al Códex A.
<b>PISCI 3</b>	<b>AGUA</b>	<b>7,480 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	Deriva al Códex A.
<b>PISCI 4</b>	<b>AGUA</b>	<b>6,010 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	<b>50 ppb</b>	Deriva al Codex A.

**TABLA 10: COMPARACIÓN DE VALORES DE ARSENICO EN PIENSO VS LIMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex Alimentario</b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>PIENSO</b>	<b>17 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>6000 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 2</b>	<b>PIENSO</b>	<b>18,030 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>6000 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 3</b>	<b>PIENSO</b>	<b>15,010 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>6000 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 4</b>	<b>PIENSO</b>	<b>17,012 ppb</b>	<b>2000 ppb</b>	<b>6000 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	Deriva al Codex A.

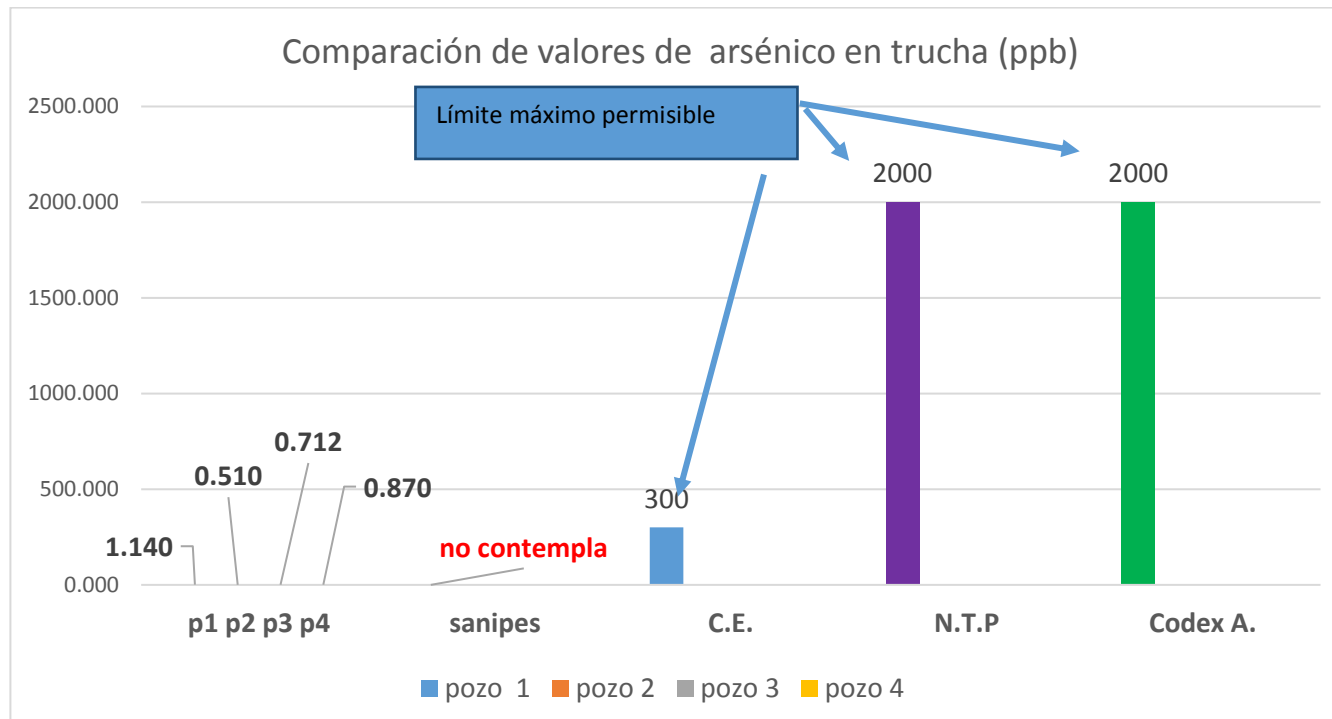
Interpretación: Comparación de los niveles máximos encontrados de arsénico y los limites máximo permisibles de los organismos reguladores.

**FIGURA 19: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE ARSÉNICO EN AGUA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TECNICA PERUANA.**



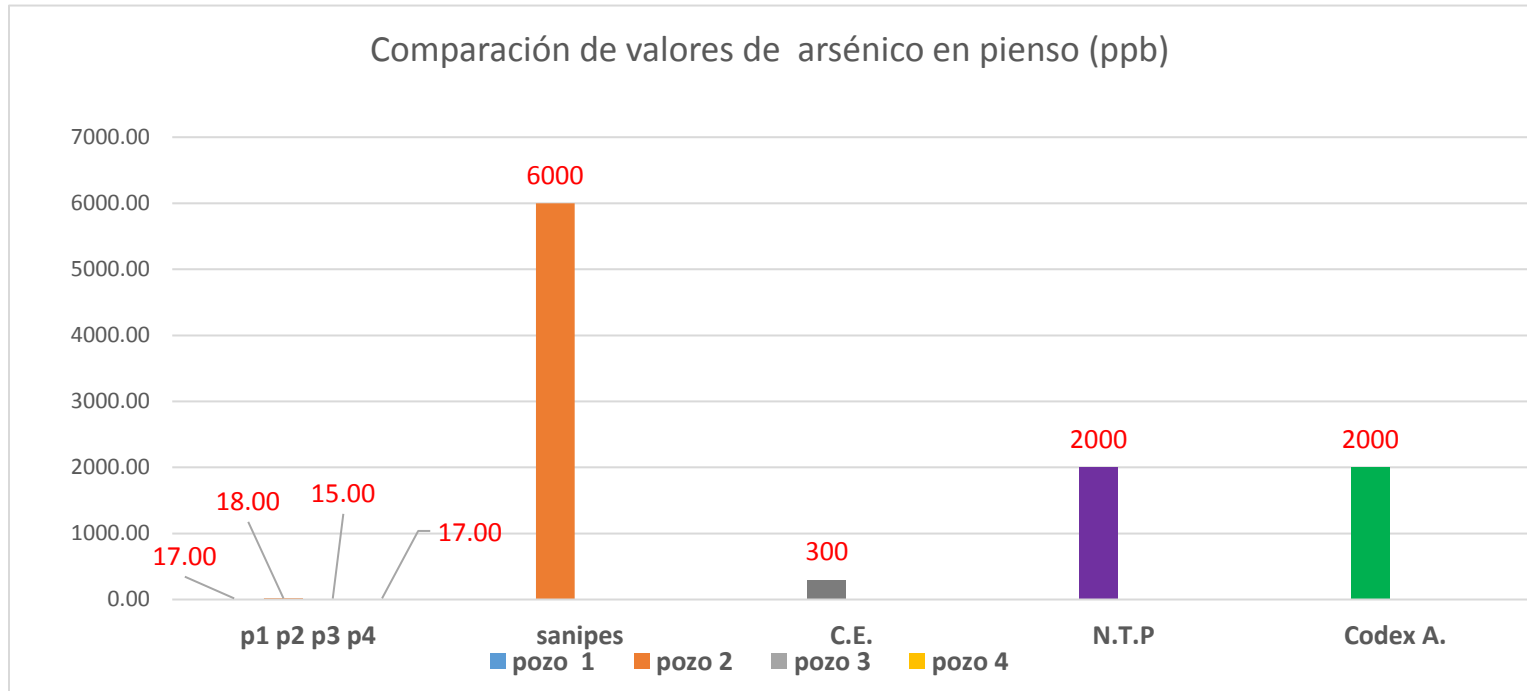
**Interpretación:** Se puede observar que las concentraciones de arsénico en agua hallados en los cuatro pozos de las piscigranjas no superan los límites máximos permisibles establecidos por el Codex *alimentarius*, SANIPES, Comunidad Europea (C.E) y Norma Técnica Peruana que es de 50 ppb.

**FIGURA 20: COMPARACION DE LOS VALORES DE ARSENICO EN TRUCHA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TECNICA PERUANA.**



**Interpretación:** Los valores obtenidos de los respectivos análisis realizados en la trucha nos indican que las truchas no superan los límites máximos permisibles por lo tanto estos alimentos se pueden consumir sin riesgo alguno.

**FIGURA 21: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE ARSÉNICO EN PIENSO VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**



**Interpretación:** Los valores obtenidos de los respectivos análisis realizados en el pienso para truchas, nos indican que las muestras respectivas no superan los límites máximos permisibles, valores que se encuentra por debajo del valor del límite máximo permisible, esto nos indica que las piensos se puede utilizar en las piscigranjas.

**TABLA 11: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN TRUCHAS VS LIMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,600 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A.</b>
<b>PISCI 2</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,210 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 3</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,110 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 4</b>	<b>TRUCHA</b>	<b>0,100 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>500 ppb</b>	<b>300 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>



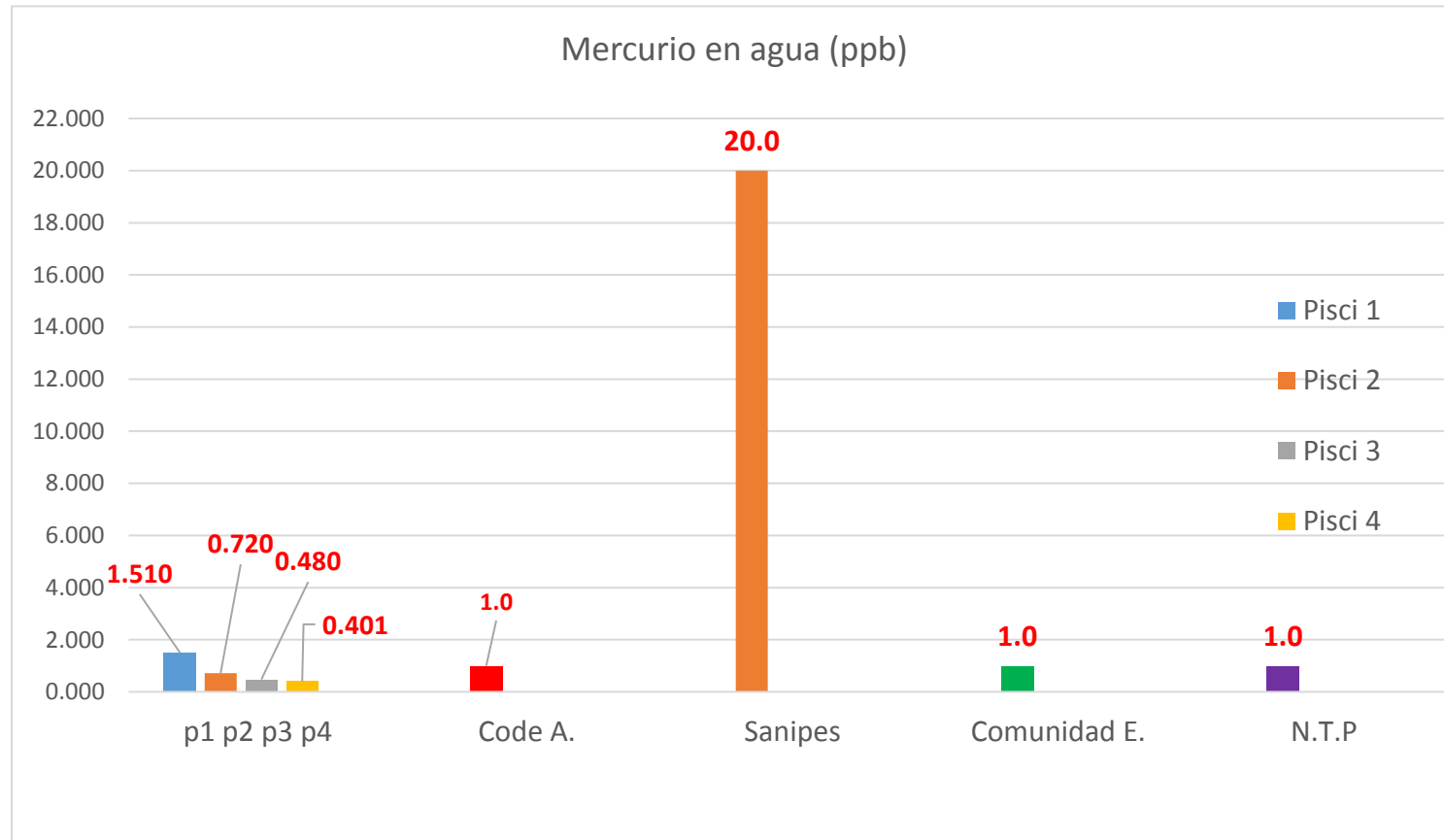
**TABLA 12: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN AGUA VS LIMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>AGUA</b>	<b>1,510 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>20,0 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A.</b>
<b>PISCI 2</b>	<b>AGUA</b>	<b>0,720 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>20,0 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 3</b>	<b>AGUA</b>	<b>0,480 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>20,0 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 4</b>	<b>AGUA</b>	<b>0,401 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>20,0 ppb</b>	<b>1,0 ppb</b>	<b>Deriva al Codex A</b>

**TABLA 13: VALORES DE MERCURIO EN PIENSO VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

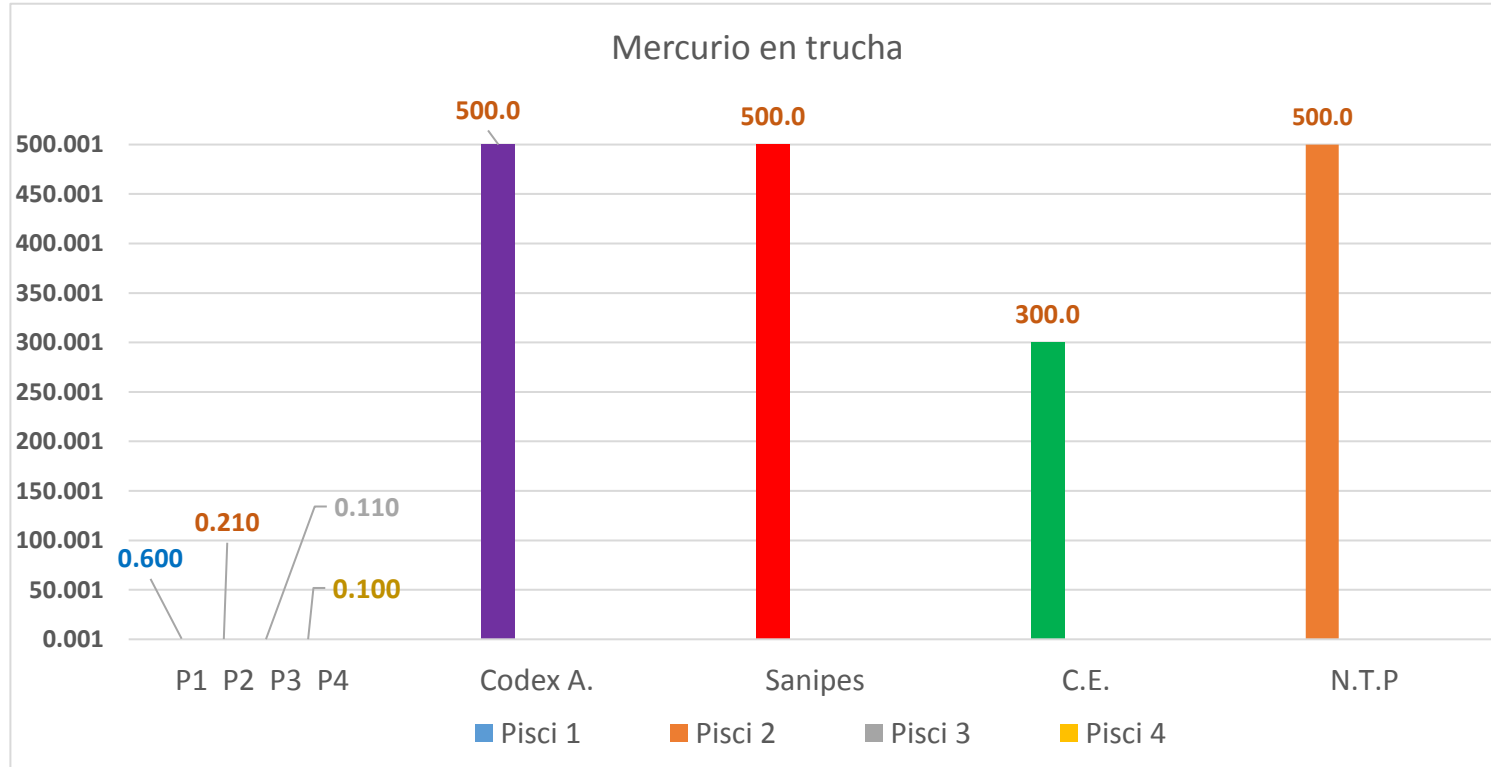
<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex Alimentarius</b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>PIENSO</b>	<b>0,020 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 2</b>	<b>PIENSO</b>	<b>0,030 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 3</b>	<b>PIENSO</b>	<b>0,010 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 4</b>	<b>PIENSO</b>	<b>0,010 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	<b>100 ppb</b>	Deriva al Codex A.

**FIGURA 22: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN AGUA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA NORMA TÉCNICA PERUANA.**



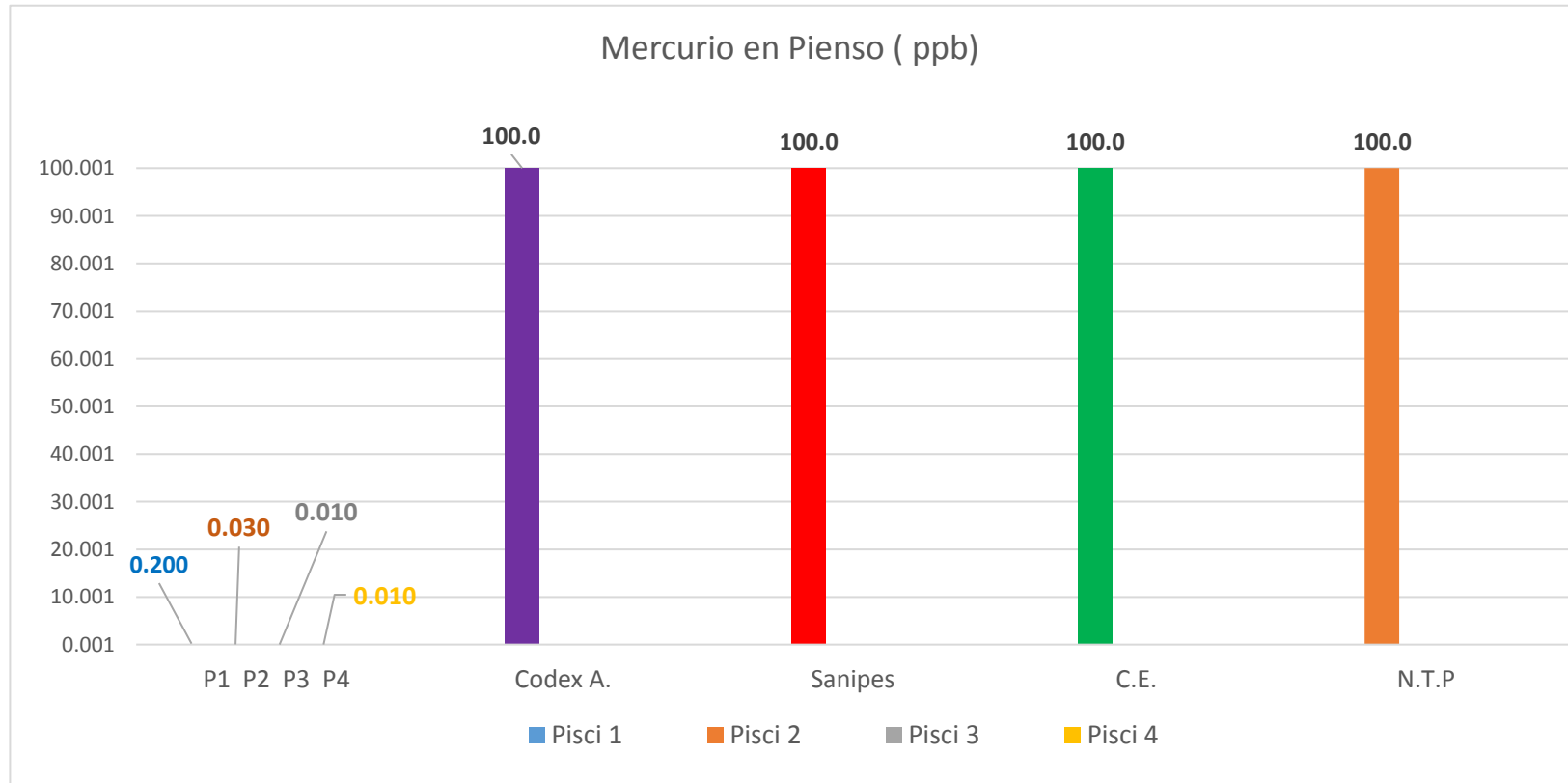
**Interpretación:** en el presente cuadro podemos observar que en la piscigranja N° 1 supera el límite máximo permisible del *Códex alimentarius*, Comunidad Europea y Norma técnica peruana.

**FIGURA 23: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN “TRUCHA” VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA NORMA TÉCNICA PERUANA.**



**Interpretación:** En el presente gráfico se puede observar que las muestras de “trucha” no sobrepasan los límites máximos permisibles por el *Códex Alimentarius*, SANIPES, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana.

**FIGURA 24: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE MERCURIO EN PIENSO VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**



**CUADRO 14: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN “TRUCHAS” VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>TRUCHA</b>	1,140 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	<b>Deriva al Codex A.</b>
<b>PISCI 2</b>	<b>TRUCHA</b>	0,510 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 3</b>	<b>TRUCHA</b>	0,712 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 4</b>	<b>TRUCHA</b>	0,870 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	0,3 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>

**CUADRO 15: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN AGUA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

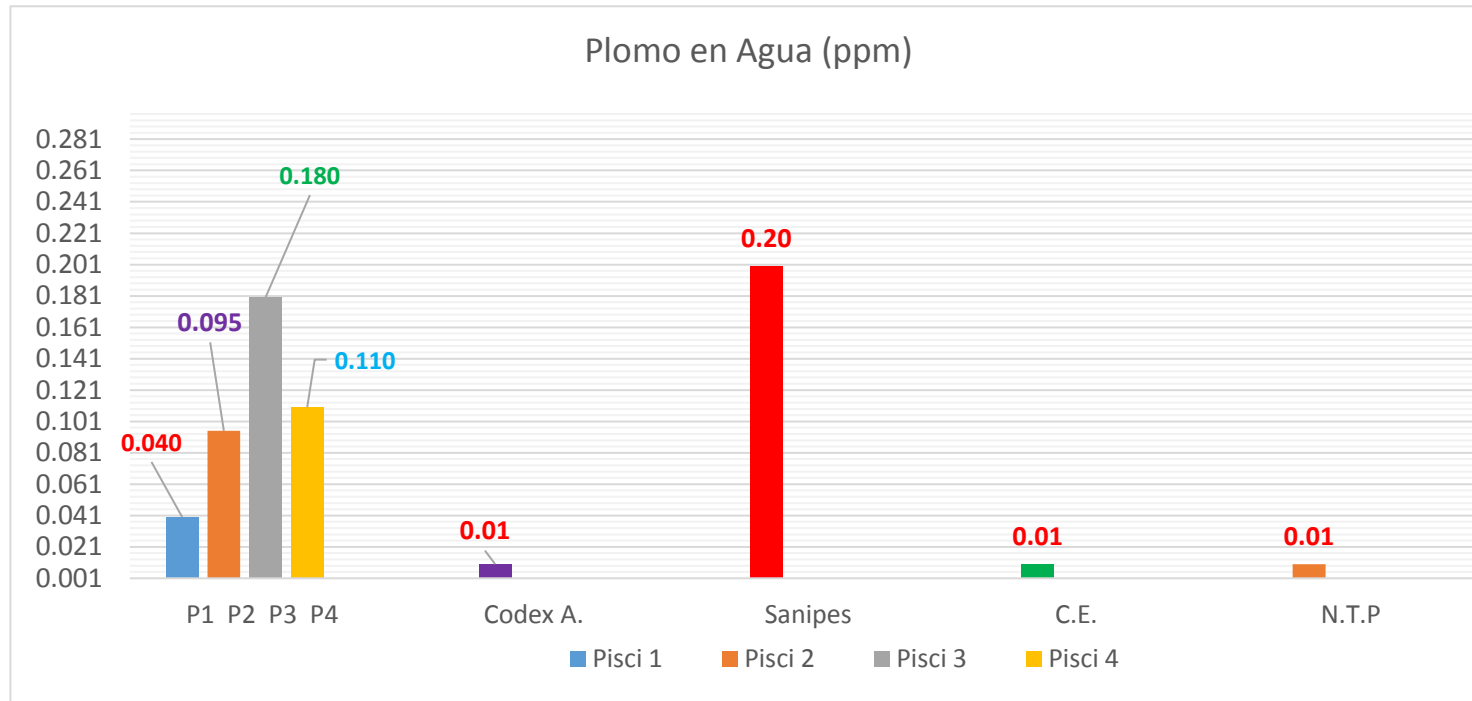
<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>AGUA</b>	0,040 ppm	0,01 ppm	0,2 ppm	0,01 ppm	<b>Deriva al Codex A.</b>
<b>PISCI 2</b>	<b>AGUA</b>	0,095 ppm	0,01 ppm	0,2 ppm	0,01 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 3</b>	<b>AGUA</b>	0,180 ppm	0,01 ppm	0,2 ppm	0,01 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>
<b>PISCI 4</b>	<b>AGUA</b>	0,110 ppm	0,01 ppm	0,2 ppm	0,01 ppm	<b>Deriva al Codex A</b>

**CUADRO 16: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN PIENSO VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX *ALIMENTARIUS*, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**

<b>Código De Muestra</b>	<b>Muestra</b>	<b>Niveles encontrados</b>	<b>Codex <i>Alimentarius</i></b>	<b>SANIPES Perú/MINEN</b>	<b>Comunidad Europea</b>	<b>N.T.P</b>
<b>PISCI 1</b>	<b>PIENSO</b>	2,001 ppm	5 ppm	5 ppm	3 ppm	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 2</b>	<b>PIENSO</b>	2,030 ppm	5 ppm	5 ppm	3 ppm	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 3</b>	<b>PIENSO</b>	2,010 ppm	5 ppm	5 ppm	3 ppm	Deriva al Codex A.
<b>PISCI 4</b>	<b>PIENSO</b>	1,910 ppm	5 ppm	5 ppm	3 ppm	Deriva al Codex A.

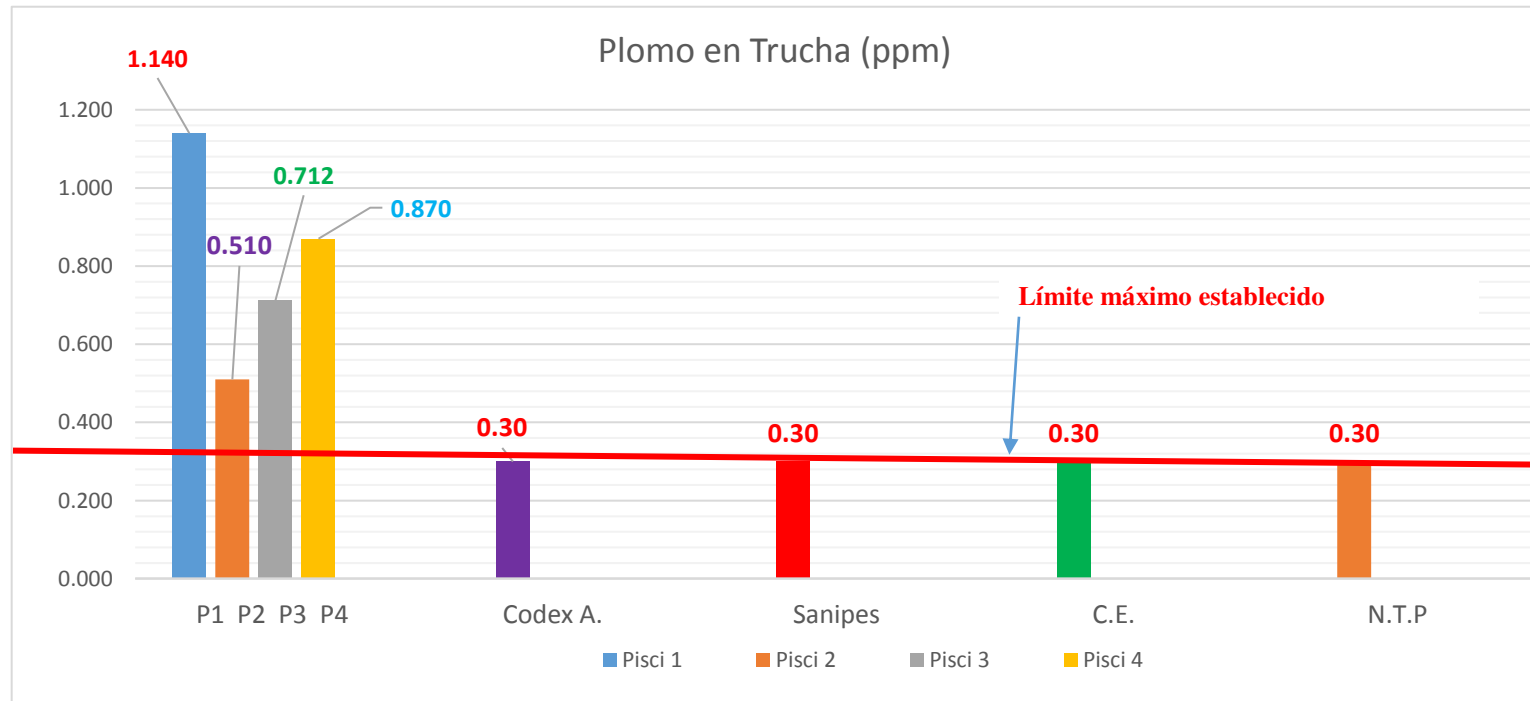


**FIGURA 25: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN AGUA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**



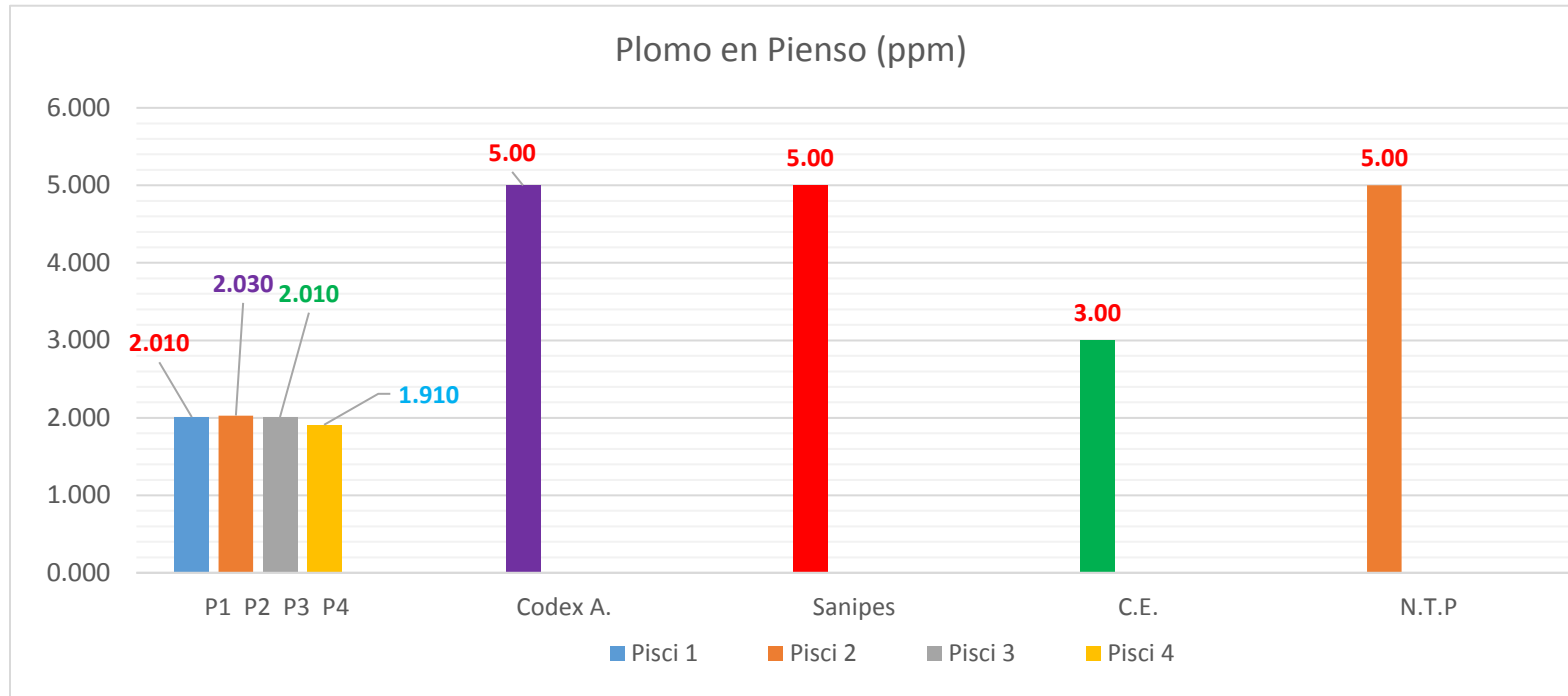
**Interpretación:** se puede visualizar que las concentraciones de plomo en agua de todos los pozos superan los límites máximos permisibles al *Códex Alimentarius*, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana pero no supera a la entidad peruana SANIPES.

**FIGURA 26: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN TRUCHA VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**



**Interpretación:** Se puede visualizar que las concentraciones halladas en las muestras de “trucha” recolectados de los diferentes pozos, superan los niveles máximos permisibles establecidos por el Codex *alimentarius*, SANIPES, Comunidad Europea y la Norma Técnica Peruana.

**FIGURA 27: COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE PLOMO EN PIENSO VS LÍMITE MÁXIMO ESTABLECIDOS POR EL CÓDEX ALIMENTARIUS, SANIPES, COMUNIDAD EUROPEA, NORMA TÉCNICA PERUANA.**



**Interpretación:** Se puede visualizar que los niveles de plomo en pienso no superan los límites máximos permisibles establecidos por el *Codex Alimentarius*, SANIPES, Norma Técnica Peruana y Comunidad Europea.

**TABLA 17: DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE ARSÉNICO, MERCURIO Y PLOMO EN AGUA DE LAS PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**

<b>DATOS ESTADÍSTICOS</b>	<b>VARIABLES</b>			
		Valor de Arsénico en agua	Valor de Mercurio en agua	Valor de Plomo en agua
Parámetros De Centralización	Mediana	5,86050	0,60000	0,10250
	Promedio (Media Aritmética)	5,32525	0,77775	0,10625
	Moda	2,100	0,401	0,040
Parámetros De Dispersión	Rango	5,380	1,109	0,140
	Varianza	5,210	0,257	0,003
	Desviación estándar	2,28456	0,506663	0,057645
<b>Valor Máximo</b>		7,480	1,510	0,180
<b>Valor Mínimo</b>		2,100	0,401	0,040

**Fuente propia:** Datos estadísticos de los valores encontrados en agua.

**TABLA 18: DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE ARSÉNICO, MERCURIO Y PLOMO EN “TRUCHA” DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA**

<b>DATOS ESTADÍSTICOS</b>	<b>VARIABLES</b>			
		Valor de arsénico en “trucha”	Valor de mercurio en “trucha”	Valor de plomo en “trucha”
Parámetros De Centralización	Mediana	0,09050	0,16000	0,79100
	Promedio (Media Aritmética)	0,27550	0,25500	0,80800
	Moda	0,051	0,100	0,510
Parámetros De Dispersión	Rango	0,819	0,500	0,630
	Varianza	0,158	0,055	0,071
	Desviación estándar	0,397090	0,235301	0,265887
<b>Valor Máximo</b>		0,870	0,600	1,140
<b>Valor Mínimo</b>		0,051	0,100	0,510

Fuente propia: datos estadísticos de los valores encontrados en trucha.

**TABLA 19: DATOS ESTADÍSTICOS DE LOS VALORES DE ARSENICO, MERCURIO Y PLOMO EN PIENSO DE PISCIGRANJAS DEL DISTRITO DE PACHANGARA, PROVINCIA DE OYÓN, REGIÓN LIMA.**

<b>DATOS ESTADÍSTICOS</b>	<b>VARIABLES</b>			
		Valor de arsénico en pienso	Valor de mercurio en pienso	Valor de plomo en pienso
Parámetros de Centralización	Mediana	0,04150	0,01667	2,00550
	Promedio (Media Aritmética)	0,04200	0,01750	1,98775
	Moda	0,032	0,010	1,910
Parámetros de Dispersión	Rango	0,021	0,020	0,120
	Varianza	0,000	0,000	0,003
	Desviación estándar	0,008602	0,009574	0,053231
<b>Valor Máximo</b>		0,053	0,030	2,030
<b>Valor Mínimo</b>		0,032	0,010	1,910

**Fuente propia:** Datos estadísticos de los valores encontrados en pienso.

### 4.3 DISCUSIÓN

En tabla número uno se observa la concentración máxima de arsénico en muestra de agua es de 7,480 ppb y corresponde al pozo de la piscigranja N° 3 a comparación del estudio realizado por Huancaré R. (2014) donde reporta análisis de agua en la Laguna de Mamacocha de Cajamarca de 2,2 ppb cabe mencionar que en la laguna mencionada existe la presencia de “truchas” por ende la contaminación por este metal es baja, también comentar que la concentración de arsénico se encuentra por debajo del límite máximo permisible (LMP) por citar al Codex *Alimentarius*, SANIPES, C.E., N.T.P. (50 ppb). En otra investigación por (Boy Mansilla, 2015) refiere en su estudio la concentración de 0,2141 ppb de la misma forma se encuentra por debajo de los LMP de las entidades reguladoras antes mencionadas. En otro reporte Basualdo Larrazabal & Yacila Frías (2015) reportan presencia de arsénico en muestras de agua del río Rímac del distrito de San Mateo de Huánchor con valores extremos entre 16,34 – 21,34 ppb; de igual manera no supera los límites máximos permisibles por las entidades antes mencionadas.

Por otro lado se reportó en una investigación realizada por (Benjumea Flórez, 2015) en muestras de agua del río Suratá del departamento de Santander, que las concentraciones halladas de arsénico es de 1,10 µg/L lo cual indica la que está por debajo del límite máximo permisible.

Por otro lado en un trabajo de investigación realizado por (Huaranga Moreno, Méndez García, Quilcat León, & Huaranga Arévalo, 2012), obtuvieron datos de concentración de arsénico en agua de 9,0 ppm (mg/L) y representa altas concentraciones a diferencia de los límites máximo permitidos por las entidades reguladoras, el análisis realizado a la Cuenca del río Moche está relacionado por el relave mineros de la zona se detalla específicamente del asiento minero Quiruvilca.

Con respecto a arsénico en Trucha se halló una concentración, máxima de 1,140 ppb en la piscigranja N° 1 en comparación con un trabajo realizado por (Boy Mansilla, 2015) donde reporta la concentración máxima de arsénico hallada en pescado es de 0,0174

ppb. de la misma manera estas concentraciones no superan los límites máximos permisibles por las entidades reguladoras por ende la seguridad de consumir estos alimentos. En otro trabajo realizado por Huancaré R. (2014), reportan como no detectado en el análisis que realizaron a las muestras de trucha.

En un estudio realizado por (Ruiz Garcia, 2014), en especies comestibles del Lago Cuitzeo en Michoacán con respecto a la determinación de arsénico en pescado fue de 2,09  $\mu\text{g/g}$  además revelan que a medida que los peces son más grandes aumenta la concentración de este metal lo cual es una variable muy importante en la acumulación de este metaloide; por otro lado se puede deber al arrastre de arsénico desde las zonas secas y resuspensión en los sedimentos por arrastre de las lluvias y precipitaciones.

La concentración de mercurio en nuestra investigación en muestra de “trucha” es de 0,600 ppb y comparando con el trabajo de investigación realizada por (Barzola Común, 2017), donde reporta concentraciones de mercurio en el rango de 0,20 a 0,63 mg/kg cabe resaltar que estas concentraciones sobrepasan los límites máximos permitidos por SANIPES. En este mismo sentido en otra investigación realizada por (Zevallos de la Torre, 2018), en “truchas” obtenidas en río Challhuahuacho en el departamento de Apurímac no evidenciaron presencia de mercurio en las muestras antes mencionadas por lo que no representa ningún riesgo para la salud humana. En otro estudio realizado por (Aparicio Alcazar, 2015), de metales pesados en pescado y en cabello de personas que consumen estos alimentos revelan que, la concentración de mercurio en pescado se encuentra en 0,258 ppm recolectadas de la Cuenca del Tambopata; si bien es cierto que estas concentraciones no sobrepasan los límites máximos permisibles de las entidades reguladoras (0,5 ppm), otra es la realidad en la determinación de los pobladores de la Comunidad en estudio que reporta un valor promedio de mercurio en cabello de 5,43 ppm tomando en consideración que no tienen relación directa con la actividad minera e incluso se clasificó a las personas de acuerdo a su participación en actividades vinculadas a la minería y se encontró que los mineros presentan concentraciones mucho más elevadas llegando a concentración de 10,50 ppm y un valor máximo de 29,08 ppm, concluyen los investigadores que las concentraciones halladas podrían corresponder a la



ingesta de pescado contaminado o la inhalación de gases de mercurio metálico emitidos como parte de la recuperación de oro.

En otro trabajo realizado por (Bertolotti, 2018) sobre “Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash – Perú” reportan que se halló 0,433 mg/kg de mercurio en trucha y 1,823 mg/kg de concentración para plomo en trucha todas las muestras fueron recolectadas de las piscigranjas que son irrigadas por el río Santa, comentan además que la presencia de mercurio se deba a la presencia de la minería artesanal.

En tabla número dos la concentración máxima de mercurio hallado en muestras de agua de piscigranjas es de 1,510 ppb. A diferencia de un trabajo realizado por (Huancaré Pusari, 2014), en la Laguna Mamacocha de Cajamarca no obtuvieron resultados de mercurio considerando en su trabajo como no detectado. Por otro lado otro trabajo de investigación realizado por (Zevallos de la Torre, 2018), en las aguas obtenidas en río ChallHuahuacho en el departamento de Apurímac no evidenciaron presencia de mercurio ( $<0.00003$  mg/L) en las de agua por lo que no representa ningún riesgo para la vida animal y vegetal de la zona.

En el cuadro N° 3 se muestran los resultados hallados de la concentración máxima de plomo en muestras de “trucha” fue de 1.140 ppm. En un trabajo de investigación realizado por (Bello Moreyra, Vera Baque, & Vera Delgado, 2016), reportan la concentración de plomo en pescado es de 0,33 ppm a la vez podemos comentar que se encuentran un poco elevado según las entidades reguladoras CE, SANIPES, CA y NTP. En un trabajo realizado por (Rodriguez Amador & Pulido Flores, 2012), hallaron plomo en una concentración de 9,61 mg/kg en pescado fresco este estudio fue realizado en peces de la Laguna Tres Palos en México concluyen además que la presencia de este metal está relacionado por un proceso de eutrofización por el cambio brusco de plantas y algas.

En el cuadro N° 3 se muestran los resultados hallados de la concentración máxima de plomo en muestras agua fueron de 0,180 ppm. En un trabajo de investigación realizada por (Gamarra Avila & Uceda León, 2017), Titulado “Determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica en “Truchas” Arco Iris “*Oncorhynchus mykiss*” del río Chiapuquio de Ingenio – Huancayo”, reportan presencia de plomo con una concentración de 0,01 mg/L superan el límite máximo permisible en plomo de la CE, (0,01 ppm) similar al Codex *Alimentarius* pero no superan a SANIPES.

Por otro lado en un trabajo de investigación realizado por (Huaranga Moreno et al., 2012), obtuvieron datos de concentración de plomo en agua de 100,375 ppm y representa altas concentraciones a diferencia de los límites máximo permitidos por las entidades reguladoras, el análisis realizado a la Cuenca del río Moche está relacionado por el relave mineros de la zona se detalla específicamente del asiento minero Quiruvilca.

En otro trabajo realizado por (Huancaré Pusari, 2014), en la Laguna Mamacocha de Cajamarca no obtuvieron resultados de plomo considerando en su trabajo como no detectado.

En un trabajo de investigación realizado por (Zevallos de la Torre, 2018), en las aguas obtenidas en río Challhuahuacho en el departamento de Apurímac no evidenciaron presencia elevada de plomo (<0.0002 mg/L) en las de agua por lo que no representa ningún riesgo para la vida animal y vegetal de la zona.

## CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de investigación se llega a las conclusiones siguientes:

1. Se concluye que los niveles de arsénico en la muestra de trucha es de 1,140 ppb correspondiendo a la piscigranja N° 4 el de mayor concentración.
2. La concentración de mercurio en trucha fue de 0,600 ppb, siendo la piscigranja N° 2 la concentración más alta.
3. La concentración de plomo en muestra de trucha fue de 1,140 ppm donde el nivel máximo corresponde a la piscigranja N° 1 siendo el de mayor concentración.
4. En la muestra de agua se encontró una concentración de arsénico de 7,480 ppb siendo piscigranja N° 3 el de mayor concentración. Con respecto a la muestra de agua la concentración de mercurio fue de 1,510 ppb siendo la piscigranja N° 1 con la mayor concentración. También referimos que en muestra de agua la concentración de plomo fue de 0,180 ppm correspondiendo a la piscigranja N° 3 el de mayor concentración.
5. Con respecto al pienso la concentración arsénico es de 18,030 ppb siendo la piscigranja N° 2 el de mayor concentración. La concentración de arsénico en muestra de pienso es de 0,030 ppb correspondiendo a la piscigranja N° 2 el de mayor concentración. La concentración máxima de plomo en pienso fue de 2,030 ppm correspondiendo a la piscigranja 2 el de mayor concentración.
6. Al comparar y analizar los resultados concluimos que los niveles de mercurio en agua de la piscigranja N° 1 (1,510 ppb) superan los límites máximos permisibles del *Códex Alimentarius*, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana (1,00 ppb), más no así en las otras muestras analizadas como trucha y pienso. Los niveles de plomo en muestras de agua superan los límites máximos permisibles del Codex Alimentario y de la Norma Técnica Peruana. Los niveles de plomo en muestras de trucha superan los límites máximos permisibles del Codex Alimentario, SANIPES, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana. Los niveles de plomo encontrados en pienso no superan los límites máximos permisibles del Codex Alimentario, SANIPES, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana.

## 4.5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios similares en otros lugares donde exista crianza de truchas.
- Establecer un programa de monitoreo con la finalidad de conocer las probables variaciones de los metales en estudio.
- Se recomienda monitorizar y analizar las aguas de los ríos con lo que se utilizan en las piscigranjas de los criaderos de trucha y así evaluar las concentraciones tomando en consideración los límites establecidos por los dispositivos legales.
- Se recomienda realizar operaciones de vigilancia ambiental de manera permanente.

#### 4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afan Rojas, K., & Flores Romero, V. E. (2018). Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017. *Universidad Privada Norbert Wiener*. Retrieved from <http://repositorio.uwiener.edu.pe/xmlui/handle/123456789/1853>
- Alvarez Jaramillo, R., & Amancio Murillo, F. (2014). *Bioacumulacion de metales pesados en peces y analisis de agua del rio Santa y de la laguna Chinacocha - llanganuco periodo 2012 - 2013*". Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Aparicio Alcazar, L. (2015). El mercurio en la Cuenca del Tambopata. Repercusiones en la salud humana y del ecosistema. [Tesis de Grado de Magister]. Universidad Nacional La Agraria. Lima-Perú. En Linea: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1164>
- Apaza Porto, H. R. (2016). Determinacion del contenido mercurio en agua y sedimentos del Rio Suches- Zona Bajo Paria Cojata - PUNO. [Tesis de Grado Profesional]. Universidad Nacional del Altiplano. Puno- Perú. [acceso 12 diciembre del 2018]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2854>
- Arrieta, A., Corredor, W., & Vera, J. (2015). Valoración Y Cuantificación De Metales Pesados En Carne De Cerdo, Pescado, Pollo Y Res Comercializados En Pamplona Norte De Santander. @*Limentech Ciencia Y Tecnologia Alimentaria*, 13(2), 163–171.
- Baharom, Z. S., & Ishak, M. Y. (2015). Determination of Heavy Metal Accumulation in Fish Species in Galas River, Kelantan and Beranang Mining Pool, Selangor. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.10.057>
- Barraza, M., Recabarren, M., & Sanzano, P. (2018). Analisis cuantitativo de metales pesados en pescados para exportacion a la Union Europea. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. [En Linea] <http://ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/1759>
- Barzola Común, R. (2017). Comparación de la concentración de cadmio y mercurio mercurio en conservas de pescado enlatadas y conservas de pescado envasadas en

vidrio expendidas en Lima - 2017”. [Tesis de Grado]. Universidad Inca Garcilazo de la Vega. [En línea]:

<http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1442>

Basualdo Larrazabal, G. J., & Yacila Frías, J. D. (2015). Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la Región de Lima. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. [En línea]. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4155>.

Bello Moreyra, I., Vera Baque, C., & Vera Delgado, H. (2016). Determinación de mercurio en enlatados de atún comercial de la Ciudad de Manta, provincia de Manabi - Ecuador. *Revista de La Asociacion Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 23(36).

Benjumea Flórez, C. F. B. (2015). Evaluación del contenido de arsénico total en aguas del río Suratá (Santander-Colombia) por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros. [Tesis de Grado]. Universidad Santo Tomas. Colombia. [En línea]: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/1130?show=full>

Bertolotti, F. (2018). Concentración de plomo , mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa , Ancash - Perú, 35–41. <https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>

Boy Mansilla, A. (2015). Determinación de metales pesados en agua, peces y almejas e *Hydrilla verticillata* del Lago de Izabal. [Tesis de Grado]. Universidad de San Carlos de Guatemala. [https://doi.org/http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/TAQP5\\_0506.pdf](https://doi.org/http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/TAQP5_0506.pdf)

Carpio Rivera, N. Y. (2016). Cuantificación de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en agua, sedimento y plantas en el río Chimbo del Cantón Marcelino Maridueña, prov. Guayas,”. [Tesis de Magister]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13733>

Castro Guerrero, R. C. (2017). Contaminación por Metales Pesados Cadmio y Plomo en Agua, Sedimento y en Mejillón *Mytella Guyanensis* (Lamarck, 1819) en los Puentes 5 de Junio y Perimetral (Estero Salado, Guayaquil - Ecuador). Recuperado a partir de: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20970/1/TESIS> 18 AGOSTO

ROBERTO CARLOS CASTRO GUERRERO.pdf

- Chambi Parisaca, L., Vladimir Orsag, C., & Zurita, A. N. (2017). Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del Municipio de Poopó-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. Vol 4. Núm(1)
- Chiroque Limaymanta, T. (2014). Aislamiento e identificación bioquímica de *Carnobacterium maltaromaticum* en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en el departamento de Junín. <https://doi.org/10.1039/c6ra18530d>
- Colin Torres, C. Murillo, J., Marmolejo, A., Del Razo, L. (2013). Concentraciones Urinarias de arsénico en Habitantes de La Cuenca Hidrografica de San Juan de Los Planes Bcs. Recuperado a partir: <http://www.biblioteca.cicimar.ipn.mx/amonPro/productividad.php?id=6359&anio=2013&tipo=4&encabezado=Ponencias>
- Corrales, D. (2013). Estudio del contenido de metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo, Uruguay. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/123456789/5077>
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Dávila Olano, C. E. (2017). Determinación de plomo y cadmio en jugos de naranja (*citrus sinensis*) expendidos de forma ambulatoria en el Paradero Villa Sol - Los Olivos – Periodo Octubre 2016 – Enero 2017. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/531>
- Fernández Jaimes, A. M., & Tejada Pacus, F. A. (2015). Determinación de metales pesados en mariscos comercializados en el Puerto de Huacho. *BIG BANG FAUSTINIANO 2017 Vol: 5 (4)*.
- Flores Mamani, M. (2018). Evaluación de la conductividad térmica y el tiempo de congelamiento, en bloques congelados de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), en función al tipo de producto y al sistema de congelamiento. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5113>

- FONDEPES. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. *Ministerio de La Producción -Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero*, 88. Retrieved from [https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL\\_TRUCHA.pdf](https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf)
- Gamarra Avila, N., & Uceda León, R. (2017). Determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica en Tuchas Arcoiris "*Oncorhynchus mykiss*" del río Chiapuquio de Ingenio - Huancayo. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/1697>
- Gutiérrez Benítez, O., González Álvarez, J., Freire Leira, M. S., Rodríguez Rico, I. L., & Moreira González, Á. R. (2015). Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Tecnología Química*, 34(1), 282–294. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852014000100008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852014000100008)
- Huancaré Pusari, R. K. (2014). Identificación histopatológica de lesiones inducidas por bioacumulación de metales pesados en branquias, hígado y músculo de Trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) de cultivo en etapa comercial de la Laguna Mamacocha, área de influencia minera, Cajamarca-, 8(3), 367. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/978380?origin=crossref>
- Huanri Pacotaype, J. E. (2014). Determinación de plomo y arsénico en jugo de caña de azúcar ( *Saccharum officinarum* ) por espectroscopia de absorción atómica en Lima Metropolitana. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3726>
- Huaranga Moreno, F., Méndez García, E., Quilcat León, V., & Huaranga Arévalo, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*, 3(3), 235–247. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.03.05>
- Lagos Mendoza, L. L. (2015). Estudio de prefactibilidad para la instalación de un centro de producción de Ovas y Alevinos de Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en Ayacucho. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/939>
- Llahuilla Quea, J. A. (2017). Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en



lápices labiales para niñas, expendidos en el Cercado de Lima, 66. Retrieved from [http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6744/Llahuaila\\_qj.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/6744/Llahuaila_qj.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

López Chávez, José D. (2017). Determinación de cadmio y plomo en Soya (*glycine max l.*) en grano, en polvo y líquida comercializada en la Ciudad de Guayaquil-Ecuador. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20968>

López Osorno, S. P. (2013). Concentración de mercurio en cabello de una muestra de la población adulta de Yucatán. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: [https://www.mda.cinvestav.mx/ecohum/tesis\\_estudiantes/TesisSLopez13.pdf](https://www.mda.cinvestav.mx/ecohum/tesis_estudiantes/TesisSLopez13.pdf)

Luna Arenas, R. N. Rodriguez V. (2016). Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa ( *Solanum tuberosum* ) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4678>

Marín, G. (2015). Contaminación de alimentos marinos por cadmio en Lima, 2015. *Ciencia e Investigación* 2016; 19(1): 24-28, 05(02), 275–279. <https://doi.org/10.18259/acs.2015038>

Marin Viluendas, S. (2014). Estudios de dieta total. exposición de la población de la Comunitat Valenciana a metales y evaluación del riesgo. *British Journal of Psychiatry*, 205(01), 76–77. <https://doi.org/10.1192/bjp.205.1.76a>

Molina Villalba, I. (2015). Analisis de arsenico y metales pesados (cadmio, manganeso, mercurio y plomo) en orina y cabello de poblacion infantil residente el Huelva. Universidad de Granada. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de: <https://hera.ugr.es/tesisugr/24700873.pdf>

Montalva Redon, M. (2016). Enfermedad de Bowen tras 45 años de exposición a arsénico en Antofagasta: comparación con una población no expuesta de la Región Metropolitana. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:

<http://bibliodigital.saludpublica.uchile.cl:8080/handle/123456789/484>

Moreno Beneventi, L. M. (2013). Comparación del consumo de alimentos e ingesta de metales pesados de poblaciones de Chile (Chillán y Valdivia). [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/fam843c/doc/fam843c.pdf>

Naciones Unidas. (2011). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Informe relativo a la información sobre los sistemas armonizados para medir la carga corporal de mercurio. Recuperado a partir de:

[http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/inc2/spanish/INC2\\_19\\_s.pdf](http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/meetings/inc2/spanish/INC2_19_s.pdf)

Obando Camalle, B. P. (2015). Estudio de la trazabilidad de mercurio entre la harina de pescado y alimento balanceado. *Journal of Applied Microbiology*, 119(3), 859–867.

Pinzón Choque, C. G. (2015). Determinación de los niveles de plomo y cadmio en leche procesada en la ciudad de Bogotá, D.C., 143. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/47779/>

Raimann, X., Rodríguez, L., Chavez, P., & Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescado y su importancia en la salud. *Rev Med Chile*, 142, 1174–1180. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v142n9/art12.pdf>

Ramírez Arizpe, A., Ramos, G., Rodríguez H. (2017). Determinación de mercurio en pescado fresco que se comercializa en el Área Metropolitana de Monterrey. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 16(1), 33–38.

Ramírez Mestanza, A. D. (2017). Determinación de la concentración de arsénico en grano de *Oryza Sativa* pilado procedente de los distritos de Pacasmayo, Enero - Junio 2017. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/11392>

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>

Rodríguez Amador, R., & Pulido Flores, G. (2012). METALES PESADOS EN EL PEZ

Dormitator latifrons (RICHARDSON, 1884) Y AGUA DE LA LAGUNA DE TRES PALOS, GUERRERO, MÉXICO. *Contaminación y Medio Ambiente Ra Ximhai* 8(2): 41-54, 8(2), 43–47.

- Ruiz Garcia, V. (2014). Evaluación de la acumulación de arsénico en especies comestibles del lago de Cuitzeo, Michoacán. [Tesis de Magister]. Recuperado a partir de: <https://posgrado-mcia.umich.mx/tesis/2014/2014-0008.pdf>
- Senior, W., & María Herminia Cornejo-Rodríguez, Johnny Tobar, M. R. R.-M. y A. M. (2016). Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en Ecuador. *Zootecnia Trop.*, 34 (2)(January 2016), 143–153.
- Tello Atiencia, M. de los A. (2015). Evaluación del riesgo toxicológico de plomo y cadmio en suelos del entorno del Parque Industrial de la Ciudad de Cuenca. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:   
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22973>
- Vargas Quispe, C. (2014). Evaluación de la capacidad de retención de agua en la elaboración de Nuggets de Trucha. [Tesis de Grado]. Recuperado a partir de:   
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2880>
- Zevallos de la Torre, S. (2018). Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Challhuahuacho, Apurímac.